



ブロイラーからの窒素排泄量低減に関する研究

著者	山崎 信
雑誌名	畜産草地研究所研究報告
巻	7
ページ	9-50
発行年	2007-03-16
URL	http://doi.org/10.24514/00002115

doi: 10.24514/00002115

ブロイラーからの窒素排泄量低減に関する研究

山崎 信

企画管理部

要 約

これまで我が国の畜産は、規模拡大と生産性の向上を実現し、国民に良質なタンパク質を低価格で供給してきた。しかしながら、限られた面積のなかでの規模拡大を行った結果、家畜排泄物が原因と考えられる環境汚染がみられるようになってきた。

そこで、本研究では窒素排泄量の低減について、アミノ酸の持つ栄養生化学的な機能特性を利用して検討を行った。すなわち、生産性を低下させることなく排泄量を低減できる粗タンパク質水準を検討するとともに、飼料中のアミノ酸、クロム酵母、共役リノール酸および繊維分解系酵素剤の添加が低 CP 飼料給与時に問題となる体脂肪蓄積に及ぼす影響を検討した。

研究の結果得られた知見の概要は以下の通りである。

1. ブロイラーヒナにおいて、必須アミノ酸を添加した低 CP 飼料給与による窒素排泄量の低減の可能性を検討した。その結果、CP を 2 ポイント低下させた飼料を給与しても、増体量および飼料効率を低下させることなく、窒素排泄量を約 10～20%低減できることを明らかにした。しかしながら、低 CP 飼料の給与により腹腔内脂肪の蓄積が増加した。
2. 低 CP 飼料中の必須アミノ酸 (EAA) と可欠アミノ酸 (NEAA) との比が、ブロイラーヒナの成長、窒素排泄量および腹腔内脂肪の蓄積に及ぼす影響を検討した。その結果、低 CP 飼料中の E/N 比が高い飼料を給与すると、対照飼料給与時と同等の成長を示しつつ窒素排泄量を 20%低減でき、低 CP 飼料給与に伴う腹腔内脂肪の蓄積増加を抑える可能性が示された。
3. ブロイラーヒナにおいて、過剰量の必須アミノ酸が、飼養成績および腹腔内脂肪の蓄積に及ぼす影響を検討した。必須アミノ酸を、①ロイシン・イソロイシン・バリン、②トレオニン、③メチオニン、④フェニルアラニン・チロシン、⑤リジン・アルギニン、⑥グリシン、⑦トリプトファンの 7 グループに分け、CP19%飼料にそれぞれのアミノ酸要求量の 150%および 200%となるようにそれぞれ添加した飼料を給与した。その結果、腹腔内脂肪重量は、アミノ酸の過剰添加により減少しなかった。増体量および飼料効率は、メチオニンの過剰添加により低下する傾向が認められた。以上の結果から、低 CP 飼料に必須アミノ酸を過剰に添加しても腹腔内脂肪蓄積にはほとんど影響しないことを明らかにした。
4. 低 CP 飼料給与時の脂肪蓄積の増加の原因が、低 CP 飼料給与区の炭水化物等の摂取量が高 CP 飼料給与区よりも多いことによるか否かの検討を行った。CP19%の低 CP 飼料給与区と等量の粗タンパク質給与時に CP21%の対照飼料給与区と等量の炭水化物を中心とする粗タンパク質以外の栄養素を給与したとき、すなわちエネルギー摂取量を制限したときの肝臓の脂質代謝関連酵素活性および脂肪蓄積を検討した。肝臓の脂質代謝関連酵素活性のうち合成系の fatty acid synthase 活性は、エネルギー摂取量を制限することにより低下する傾向がみられたが、分解系酵素の carnitine palmitoyl transferase 活性が低下する傾向がみられた。腹腔内脂肪重量は、エネルギー摂取量を制限し

でも増加する傾向がみられた。以上の結果から、低 CP 飼料給与による脂肪蓄積の増加は、炭水化物等の摂取量増加以外の要因によりもたらされる可能性が示唆された。

5. 体脂肪蓄積を抑制するとされているクロム酵母の低 CP 飼料への添加が、ブロイラーヒナの成長、窒素排泄量および腹腔内脂肪の蓄積に及ぼす影響を検討した。その結果、CP19%飼料の給与により窒素排泄量を低減できることが確認できたものの、低 CP 飼料給与による腹腔内脂肪の蓄積を飼料へのクロム酵母添加により抑えられないことが明らかになった。
6. ほ乳類において体脂肪蓄積を抑制するとされている共役リノール酸の低 CP 飼料への添加が、ブロイラーヒナの成長、窒素排泄量および腹腔内脂肪の蓄積に及ぼす影響を検討した。その結果、共役リノール酸の飼料への添加は、ブロイラーヒナの脂質代謝に影響を及ぼす可能性が示唆されるものの、低 CP 飼料給与による腹腔内脂肪の蓄積を抑えられないことが示された。
7. 低 CP 飼料へのセルラーゼ添加が、7~21 日齢および 28~42 日齢のブロイラーヒナの成長、窒素排泄量および腹腔内脂肪の蓄積に及ぼす影響を検討した。飼養成績は低 CP 飼料給与区と対照飼料給与区との間に差は認められず、窒素排泄量は有意に低減できることが確認された。回腸アミノ酸消化率は、酵素添加により上昇する傾向が見られた。肝臓の脂肪合成および分解関連の酵素活性は、CP 水準および酵素添加の影響は認められなかったが、腹腔内脂肪重量は、酵素添加により減少する傾向が見られた。これらの結果から、低 CP 飼料へのセルラーゼ添加は、回腸アミノ酸消化率を改善し、体脂肪蓄積を減少させる可能性があることが示された。

以上の結果から、必須アミノ酸を添加した低 CP 飼料給与により、増体量および飼料効率を低下させることなく、窒素排泄量を約 10~20%低減できることを明らかにした。低 CP 飼料の給与による腹腔内脂肪の蓄積が増加は、クロム酵母および共役リノール酸の添加では抑えることはできないが、飼料中の EAA/NEAA 比の上昇およびセルラーゼの添加により抑制できる可能性が示された。これらの研究成果は、現在大きな問題となっている家畜・家禽からの窒素排泄量の低減化への対応のための有益な知見と考えられる。

キーワード：アミノ酸，窒素排泄，脂肪蓄積，環境，ブロイラー

緒 論

我が国の畜産は、1961 年に施行された旧農業基本法で選択的拡大作目に位置付けられ、規模拡大と生産性の向上を実現し、安価で良質な動物性タンパク質を供給できるようになった。現在の乳用牛、肉用牛、豚、産卵鶏および肉用鶏の飼養頭羽数は、1966 年当時と比較すると、いずれの畜種においても約 1.5 から 5 倍に増加しており、1 戸当たりの飼養頭羽数も 10 倍以上の伸びを示している^{70, 71)}。このように急速な発展を成し遂げることができた背景として、育種繁殖、生理、栄養・飼料、衛生および経営等、それぞれの学問分野の進展によるところが大きい。特に、家禽の栄養・飼料分野の研究の発展は目ざましく、とりわけ家禽のタンパク質栄養、アミノ酸栄養の進展は生産性の向上に大きく貢献した。

タンパク質は筋肉、組織、血液などの体成分を構成する主要な成分であるとともに、生体内で様々な働きをする酵素、生体防御のための抗体、代謝制御に関係するホルモンなどの成分でもあり、動物の生命維持および生産活動に極めて重要な栄養素である。タンパク質は約 20

種類のアミノ酸から構成されるが、家禽はこれら全てのアミノ酸を合成できるわけではなく、合成できないアミノ酸は必須アミノ酸として飼料から摂取しなくてはならない。古くは、家禽に必須な栄養素としてのタンパク質の要求量を明らかにする研究が行われてきたが、後にアミノ酸の分析方法の確立とともに個々の必須アミノ酸の要求量を明らかにする研究、更にはそれらの利用性を加味した、可消化および有効アミノ酸要求量を明らかにする研究へと発展してきた^{110, 111)}。同時にアミノ酸の過剰給与の影響や、インバランスや構造および化学的に類似しているアミノ酸間の拮抗作用などアミノ酸の相互作用についての研究も精力的に行われてきた⁴⁰⁾。最近では、飼料のタンパク質などの栄養素は、これまでの材料供給としての栄養機能のみならず、呈味機能、免疫賦活化機能、代謝の促進および正常化などの生理機能の面からの研究も盛んに行われている⁴³⁾。アミノ酸やタンパク質の研究の進展と同時に、単体アミノ酸の生産技術が進歩したため、比較的安価にアミノ酸が手に入り利用できるようになったことから、これらのアミノ酸を添加した実用

飼料が畜産の現場でも利用できるようになった。その消費量は年々増加し続け、世界における飼料用アミノ酸の使用量は 2000 年には 100 万トンを超えている⁹²⁾。我が国でもリジンおよびメチオニンを中心に飼料に利用されており、これらの他に 12 種類のアミノ酸が飼料添加物として指定されている⁶⁶⁾。

日本における畜産の急速な発展は、畜産の重要な生産資材の一つである飼料穀物を外国からの輸入に依存した加工型の畜産の様相を呈することになった。昨年の日本における濃厚飼料供給量 1,950 万トンのうち、約 89% は海外からの輸入に依存している⁷²⁾。その結果、家畜によって利用されずに排泄される窒素やリンが日本列島に蓄積することになり、環境汚染の問題を引き起こす可能性をもたらした。元来、家畜排泄物は排出農家の田畑や周辺地域内の農地に還元されてきたが、経営の規模拡大の結果、大量の排泄物が限られた地域に集中的に産出されるため、場内の農地はもちろん周辺農地ですら排泄物の処理が難しくなってきた。また、地域によっては、畜産と耕種農業の立地が必ずしも一致なくなり、耕地面積当たりの家畜排泄物の発生量が、耕地に還元する適正水準の数倍にも達する例が出てくるなど、堆肥の需給にアンバランスが生じている⁷³⁾。更に、耕種農家の高齢化が堆肥散布労力の不足をもたらし、施肥の施用量が年々減少していることも、家畜排泄物の余剰に拍車をかけている。このような事態に対し政府は、持続性の高い農業生産方式の導入の促進、堆肥等特殊肥料の適切な施用の促進及び品質の保全、畜産における家畜排泄物の適正な管理の確保及び有効利用の促進に関する措置を総合的に講ずることを目的とした法律、いわゆる「環境三法」を 1999 年 7 月に制定し、対策を行ってきた。

日本における 1 年間の家畜からの総排泄物量は、約 9,000 万トンで、そのうち産卵鶏および肉用鶏から排泄される量は、約 16% の 1,500 万トンであるが、窒素排泄量についてみると 62 万トンの総排泄量に対して、鶏から排泄される量はその約 30% の 18 万トンと全体に占める割合は高い⁶²⁾。また、養鶏用飼料原料の 90% 以上を海外に依存していることから、鶏から排泄される窒素はほとんどが海外に由来するので、日本国内における窒素過剰蓄積の大きな要因は鶏からの排泄物となっている。過剰な窒素は、湖沼や内湾等の集水域の富栄養化の原因となるばかりでなく、硝酸態窒素やクリプトスポリジウム（原虫）による地下水汚染の原因となり、人間の健康にも直接被害を及ぼす可能性がある。これら排泄物に起因する環境問題を解決するためには、より効率的で適切

な堆肥処理とその土壌への還元のみならず、家禽から排泄される窒素量を低減し、環境への負荷をできるだけ小さくすることが重要と考えられる。

かつての養鶏用飼料は、粗タンパク質（CP）含量の高い飼料であったが、CP 含量が従来より低い飼料であっても、必須アミノ酸の添加により生産性が低下しないことが明らかになった¹¹⁾。このことは、必須アミノ酸添加により家禽のアミノ酸要求量に近い組成の飼料を供給することにより、これまで無駄に給与および排泄されていた窒素量を低減できる可能性を示している。この報告以来、低コスト化を目的とした、飼料の低 CP 化に関する試験が行われているが^{29, 56, 106)}、窒素排泄量を同時に検討した報告はない。そこで、第 1 章では鶏からの窒素排泄量低減に関する検討を行った。ブロイラーへのアミノ酸を添加した低 CP 飼料の給与が窒素排泄量に及ぼす影響を検討するとともに（第 1 章第 1 節）、低 CP 飼料中の必須アミノ酸含量等が窒素出納および体脂肪蓄積に及ぼす影響について検討を行った（第 2 章第 1, 第 2 節）。また、低 CP 飼料給与時に問題となる脂肪蓄積の増加抑制に関する検討を第 3 章で行った。第 1 節では、低 CP 飼料給与時の脂肪蓄積量の増加が炭水化物等の摂取量増加によるものか否か検討を行い、第 2 および 3 節では、脂肪蓄積を抑制する可能性のあるクロム酵母および共役リノール酸の低 CP 飼料への添加がブロイラーの腹腔内脂肪蓄積に及ぼす影響を検討した。第 4 節では、低 CP 飼料に繊維分解系酵素剤を添加しアミノ酸の消化率を改善した低 CP 飼料の給与が、ブロイラーの腹腔内脂肪蓄積および肝臓の脂質代謝関連酵素活性に及ぼす影響を検討した。

第 1 章 アミノ酸によるブロイラーからの窒素排泄量低減に関する研究

第 1 節 ブロイラーヒナにおけるアミノ酸添加低タンパク質飼料給与による窒素排泄量の低減

要 約

ブロイラーヒナにおいて、増体量を減少させないで窒素排泄量の低減の可能性を検討するために、2 つの試験を行った。試験 1 では、CP 含量が 23, 21, 19 および 17% の 4 飼料を 7 日齢のヒナに 14 日間給与した。試験 2 においては、試験 1 よりもさらに CP 水準を低下させた飼料（19, 17 および 15%）を 14 日齢のヒナに 14 日間給与した。両試験飼料とも、必須アミノ酸は日本飼養標準(1992)

の要求量を満たすように単体アミノ酸を用いて調整した。

試験1の結果、CP19%の低CP飼料を給与したヒナの増体量および飼料効率は、CP21%の対照飼料を給与したヒナとの間に有意差は認められなかったが、CP17%飼料を給与したヒナでは増体量が有意に低下した。試験2では、CP19%とCP17%飼料を給与したヒナの増体量および飼料効率に差はみられなかった。4日間の窒素排泄量は、試験1のCP23, 21, 19および17%飼料給与区でそれぞれ3.93, 3.26, 2.35および2.19g, 試験2のCP19, 17および15%飼料給与区でそれぞれ4.07, 3.71および3.33gとなった。しかし、両試験において飼料の低CP化にともない、腹腔内脂肪量が有意に増加した。

以上の結果より、飼料のCP水準は必須アミノ酸添加により発育成績に影響を与えることなく21%から19%に低下させることができ、窒素排泄量を10~20%低減できるが、腹腔内脂肪量の増加をとまなうことが示された。

緒言

日本において家畜から排泄される糞尿の量は、年間9,000万トン、窒素排泄量では約60万トンに達していると推定されている⁶²⁾。この量は、農地の受け入れ能力のほぼ限界か、畜産が盛んな地域ではその限界を超えていると推測されている。これら、家畜の排泄物の問題を解決していくためには、一つは堆肥として積極的に土壌へ還元していくことが重要であるが、それ以上に、家畜・家禽から排泄される糞尿量、ならびに、窒素、リン、重金属などの量を低減し、環境への負荷を小さくすることが重要になっている。

一方、最近では、単体アミノ酸の飼料添加物としての利用が可能となり、その価格も低下してきている。それにとともに、単体アミノ酸を用いたブロイラー飼料の低CP化に関する研究が行われてきた。Waldroupら¹⁰⁶⁾は、リジンおよびメチオニンを添加して必須アミノ酸要求量を満たしたCP19%飼料を7から17日齢の雌ブロイラーヒナに給与することにより、CP24%飼料を給与した鶏と同等の増体量および飼料効率を得ることができたと報告している。Parr and Summers⁸²⁾も、10種類の単体アミノ酸を添加して必須アミノ酸要求量を満たしたCP16.5%飼料を7から21日齢のブロイラーヒナに給与することにより、対照飼料(CP23%)を給与した鶏と同等の成長を得たと報告している。これらの結果から、単体アミノ酸を用いた飼料の低CP化が可能であることは明らかである。しかし、低CP化によってどの程度窒素排泄量が低減されるかについては明らかにされていない。一方、これま

での飼料中のCP水準と体脂肪量との関係を示した報告によると、低CP飼料の給与により体脂肪が増加することが明らかになっている⁴¹⁾。したがって、単体アミノ酸添加による飼料の低CP化は、体脂肪増加をもたらす可能性が考えられる。

そこで、鶏の窒素排泄量の低減化の可能性に関する知見を得るために、単体アミノ酸を添加して必須アミノ酸要求量を満たした低CP飼料を調製し、ブロイラーに給与することにより、窒素排泄量がどの程度低減できるかを検討した。また、窒素排泄量低減時の増体量および体脂肪蓄積などの生産性に及ぼす影響についても併せて検討した。

材料および方法

CP23%の市販飼料を給与した市販の雄ブロイラーヒナ(アーバーエーカーフジ)を用いて2回の飼養試験と出納試験を行った。試験1では、必須アミノ酸含量が日本飼養標準(1992)⁶⁸⁾の要求量を満たしたCP23, 21, 19および17%の4飼料を調製した(表1-1)。実際の調製では、まず初めにCP23%およびCP17%飼料を調製し、その後両飼料を2:1あるいは1:2の割合で混合してCP21%およびCP19%飼料を調製した。これらの飼料のうち、日本飼養標準(1992)⁶⁸⁾の推奨するCP含量のCP21%飼料を対照飼料とした。1飼料に2羽5反復の10羽を割り付け、合計40羽を用いて7から21日齢までそれぞれの飼料を自由摂取させる飼養試験を行った。

試験2は、さらにCP水準を低下させた場合に、試験1と同様の結果を得ることができるか否かを確認するため行った。供試飼料は、アミノ酸含量が日本飼養標準(1992)の要求量を満たしたCP19, 17および15%の3飼料(表1-1)とした。試験1と同様、CP19%およびCP15%飼料を調製し、その後両飼料を混合してCP17%飼料を調製した。試験1と同様に割り付けた雄ブロイラーヒナ30羽を用いて、14から28日齢まで飼養試験を行った。

両試験ともに、試験飼料の代謝エネルギー(ME)は3.1kcal/gとした。試験開始後の7日目から11日目にかけての4日間の排泄物の全量を採取し、窒素出納を測定した。試験終了時に、各区から平均体重に近い6羽を選び、腹腔内脂肪重量を測定した。飲水は自由とし、飼養環境はバタリーケージ、環境温度は25℃、光線管理は24時間照明に設定した。

結果はDuncanの多重範囲検定法⁹⁰⁾により平均値間の差の検定を行った。

表 1-1 試験飼料の組成 (%)

飼料原料	試験 1				試験 2		
	CP23%	CP21%	CP19%	CP17%	CP19%	CP17%	CP15%
トウモロコシ	57.78	64.55	71.31	78.07	67.81	74.36	80.96
大豆粕	33.92	27.32	20.73	14.14	24.43	17.30	10.17
魚粉	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00
大豆油	2.64	1.84	1.03	0.23	1.54	0.77	-
第 2 リン酸水素カルシウム	1.17	1.23	1.29	1.35	1.26	1.33	1.40
炭酸カルシウム	0.88	0.89	0.91	0.92	0.90	0.91	0.92
DL-メチオニン	0.22	0.28	0.34	0.40	0.31	0.38	0.44
L-リジン塩酸塩	-	0.14	0.28	0.42	0.14	0.33	0.52
L-アルギニン	-	0.16	0.32	0.48	0.17	0.39	0.60
L-トレオニン	-	0.07	0.14	0.20	0.05	0.16	0.26
L-イソロイシン	-	0.06	0.12	0.18	-	0.12	0.24
L-バリン	-	0.03	0.06	0.09	-	0.07	0.13
グリシン	-	0.02	0.04	0.07	-	0.10	0.20
L-フェニルアラニン	-	0.01	0.02	0.03	-	0.08	0.16
L-トリプトファン	-	0.01	0.02	0.03	-	0.03	0.05
セルロース	-	-	-	-	-	0.28	0.56
塩化ナトリウム	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24
ビタミン・ミネラル混合物 ¹	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15
計算値							
ME (kcal/g)	3.10	3.10	3.10	3.10	3.10	3.10	3.10
CP (%)	23.0	21.0	19.0	17.0	19.0	17.0	15.0

¹ ビタミン・ミネラル混合物は、1 kg あたり ビタミン A 2,666,667IU; ビタミン D₃ 400,000IU; 酢酸 DL- α -トコフェロール 10g; 硝酸チアミン 1.7g; メナジオン亜硫酸ナトリウム 1.0g; リボフラビン 3.3g; 塩酸ピリドキシン 2g; ニコチン酸 33.3g; D-パントテン酸カルシウム 13.3g; 塩化コリン 200g; 葉酸 1.3g; シアノコバラミン 20mg; D-ビオチン 0.2g; 硫酸マンガン 73.3g; 硫酸鉄 5.4g; 硫酸銅 2.5g; 炭酸亜鉛 16.7g; およびヨウ素酸カルシウム 0.5g を含む。

表 1-2 飼料の CP 水準が 7 から 21 日齢の雄ブロイラーヒナの成長に及ぼす影響 (試験 1)

	CP23%	CP21%	CP19%	CP17%
増体量 (g/14 日) ¹	562 \pm 15 ^a	546 \pm 55 ^a	529 \pm 32 ^{ab}	476 \pm 46 ^b
飼料摂取量 (g/14 日) ¹	800 \pm 48	817 \pm 60	806 \pm 26	740 \pm 68
飼料効率 (%) ¹	70.4 \pm 2.6 ^a	66.8 \pm 2.7 ^b	65.6 \pm 2.0 ^b	64.3 \pm 3.1 ^b
腹腔内脂肪重量 (g/100g 体重) ²	1.17 \pm 0.28 ^b	1.03 \pm 0.30 ^b	1.51 \pm 0.22 ^a	1.65 \pm 0.21 ^a

¹ 平均値 \pm 標準偏差, n=5.

² 平均値 \pm 標準偏差, n=6.

^{a,b} 異符号間に 5%水準で有意差あり.

結 果

試験 1

飼養成績および腹腔内脂肪重量を表 1-2 に示した。増体量は CP17%区が CP23 および 21%区に比べて有意に低かったが ($P<0.05$), CP23, 21 および 19%区間に差は認められなかった。飼料摂取量は、飼料の CP 水準の低下とともに減少する傾向がみられたが、いずれの区間においても有意差は認められなかった。飼料効率は、日本飼養標準 (1992)⁶⁸⁾ の CP 要求量である 21%を下回る CP19 および 17%区においても低下は認められなかった。体重 100 g あたりの腹腔内脂肪重量は、飼料の CP 水準

の低下とともに増加し、CP23 および 21%区と CP19 および 17%区との間に有意差が認められた ($P<0.05$)。

窒素出納成績を表 1-3 に示した。窒素摂取量および窒素排泄量は、飼料の CP 水準の低下とともに有意に減少し、窒素排泄量においては各区間で有意差が認められた ($P<0.05$)。CP21%区の窒素排泄量を 100 とした場合、CP19, 17%区の窒素排泄量はそれぞれ 84, 57 となった。窒素蓄積量 (窒素摂取量-窒素排泄量) は、飼料の CP 水準の低下とともに有意に減少した ($P<0.05$)。窒素の蓄積率 (窒素蓄積量/窒素摂取量) は、飼料の CP 水準の低下とともに有意に上昇した ($P<0.05$)。

表 1-3 飼料の CP 水準が 14 から 18 日齢の雄ブロイラーヒナの窒素出納に及ぼす影響 (試験 1)

	CP23%	CP21%	CP19%	CP17%
窒素摂取量 (g/4 日) ¹	10.02±0.77 ^a	9.57±0.64 ^a	8.32±0.40 ^b	7.01±0.70 ^c
窒素排泄量 (g/4 日) ¹	3.93±0.52 ^a	3.26±0.34 ^b	2.74±0.18 ^c	1.86±0.20 ^d
窒素蓄積量 (g/4 日) ¹	6.09±0.31 ^{ab}	6.31±0.35 ^a	5.58±0.33 ^{bc}	5.15±0.51 ^c
窒素蓄積率 (%) ¹	60.9±2.6 ^c	66.0±1.7 ^b	67.0±1.9 ^b	73.5±0.7 ^a

¹ 平均値±標準偏差, n=5.^{a-d} 異符号間に 5%水準で有意差あり.

試験 2

飼養成績および腹腔内脂肪重量を表 1-4 に示した。増体量は各区间で有意差は認められなかった。飼料摂取量は飼料の CP 水準の低下とともに増加する傾向がみられたが、いずれの区間にも有意差は認められなかった。飼料効率は CP15%区が CP19%区より有意に低かったが、CP17%区と CP19%区との間に有意差は認められなかった (P<0.05)。体重 100 g あたりの腹腔内脂肪重量は、飼料の CP 水準の低下とともに増加し、CP19%と CP15%区との間に有意差が認められたが (P<0.05)、CP17%区との間には有意差は認められなかった。

窒素出納成績を表 1-5 に示した。窒素摂取量および窒素排泄量は、飼料の CP 水準の低下とともに有意に減少し (P<0.05)、CP17 および 15%区の窒素排泄量は、CP19%区に比べてそれぞれ 9%、18%の減少となった。窒素蓄積量は、飼料の CP 水準の低下とともに減少する傾向が認められた。窒素の蓄積率は、飼料の CP 水準の低下とともに上昇する傾向が認められた。

考 察

試験 1 において、単体アミノ酸を用いて必須アミノ酸を満たした低 CP 飼料 (CP19%) を給与したところ、日本飼養標準 (1992) ⁶⁸⁾ の CP 要求量である CP21%区と同等の増体量と飼料効率を示した。試験 2 においても、CP17%区において CP19%区と同様の成績を得た。これらの結果は、CP19%飼料に不足する必須アミノ酸を添加することにより CP23%飼料を給与したヒナと同等の成長を示すことを明らかにした Waldroup ら ¹⁰⁶⁾ の報告と一致した。それらのことから、通常の飼料原料を用いて配合した飼料の CP 含量を 2%程度低下させても単体アミノ酸を添加して必須アミノ酸要求量を充足すれば、飼養成績は低下しないことが明らかになった。

しかしながら、本試験 (試験 1) の CP 含量をさらに下げた CP17%区では、CP21%区に比べて増体量が低下した。これまでのブロイラーヒナを用いた試験において、飼料の CP 含量を 5%以上の大きな幅で下げた場合、不足するアミノ酸を添加しても飼養成績は低下することが報告されている ^{29, 30)}。Jensen⁴²⁾ はタンパク態アミノ酸と

表 1-4 飼料の CP 水準が 14 から 28 日齢の雄ブロイラーヒナの成長に及ぼす影響 (試験 2)

	CP19%	CP17%	CP15%
増体量 (g/14 日) ¹	771±91	811±62	753±110
飼料摂取量 (g/14 日) ¹	1319±62	1405±88	1437±148
飼料効率 (%) ¹	58.3±4.7 ^a	57.7±1.5 ^a	52.2±2.7 ^b
腹腔内脂肪重量 (g/100g 体重) ²	1.13±0.47 ^b	1.58±0.23 ^{ab}	1.90±0.38 ^a

¹ 平均値±標準偏差, n=5.² 平均値±標準偏差, n=6.^{a,b} 異符号間に 5%水準で有意差あり.

表 1-5 飼料の CP 水準が 21 から 25 日齢の雄ブロイラーヒナの窒素出納に及ぼす影響 (試験 2)

	CP19%	CP17%	CP15%
窒素摂取量 (g/4 日) ¹	13.26±0.96 ^a	12.67±1.00 ^{ab}	11.61±1.37 ^b
窒素排泄量 (g/4 日) ¹	4.07±0.54 ^a	3.71±0.28 ^{ab}	3.33±0.43 ^b
窒素蓄積量 (g/4 日) ¹	9.19±0.50	8.96±0.78	8.28±1.00
窒素蓄積率 (%) ¹	69.4±2.2	70.7±1.2	71.3±1.7

¹ 平均値±標準偏差, n=5.^{a,b} 異符号間に 5%水準で有意差あり.

単体アミノ酸ではその吸収および代謝が異なる可能性を示しており、不足するアミノ酸を単体アミノ酸で補っても対照飼料に及ばなかった原因の一つには、タンパク態アミノ酸の不足を単体アミノ酸では完全に代替できないことが考えられる。一方、Parr and Summers⁸²⁾ は7から21日齢のブロイラーヒナを用いた実験で、10種類の単体アミノ酸を添加してCPを16.5%まで低下させた飼料においてCP23%飼料と同等の増体量および飼料効率を得ることができたと報告している。単体アミノ酸添加による低CP化の限界についてはさらに検討する必要がある。

本試験の結果は、給与する飼料のCP含量を2%程度下げて、不足する必須アミノ酸を補うことによって、発育成績を低下させることなく窒素排泄量を10~20%減少できることを示した。この時、低CP飼料給与区では、窒素摂取量の減少とともに窒素蓄積率の改善が認められた。したがって、これが発育成績を低下することなく窒素排泄量を低減することができた主な原因であると考えられる。

試験1において、CP19%飼料を給与した鶏の窒素排泄量を100とした場合、CP17%飼料給与区の窒素排泄量は68となった。これに対し、試験1よりも週齢の遅い鶏を用いた試験2では、同様にCP19%飼料給与区の窒素排泄量を100とすると、CP17%飼料給与区では91となり、週齢により窒素排泄量の低減割合が変化することが示唆された。このことについては、週齢の異なる鶏を用いてさらに検討する必要がある。

Summers and Leeson⁹⁶⁾ は、リジンおよびメチオニンを添加したCP20%飼料を雄ブロイラーに初生から4週齢まで給与したところ、増体量および飼料効率はCP24%飼料を給与した鶏と同等であったが、腹腔内脂肪重量が有意に増加したと報告している。また、Hanら³⁶⁾ は、6種類の単体アミノ酸を添加した低CP飼料（1から3週齢までCP21.4%、4から6週齢までCP18.5%）を給与したところ、増体量および飼料効率は対照飼料（1から3週齢までCP23%、4から6週齢までCP20%）を給与した鶏と同等であったが、腹腔内脂肪重量が増加したと報告しており、本試験においても試験期間や飼料CP含量は異なるものの、低CP化にともない腹腔内脂肪重量が増加するという同様の結果が得られた。

飼料中のエネルギーとタンパク質の比、すなわちカロリー・タンパク質比（C/P比）を変化させると体組成が変化するというFraps³¹⁾ の報告以来、Jacksonら⁴¹⁾ をはじめ多くの研究者が飼料中C/P比と腹腔内脂肪重量あるいは体脂肪量との間の関係を報告している。これまで

の研究を総合すると飼料エネルギー水準の増加、あるいは飼料CP水準の低下によるC/P比の上昇により体脂肪が増加することが明らかとなっている。本試験で用いた試験飼料も低CP飼料ほどC/P比が高くなっており、これが腹腔内脂肪重量を増加させたと考えられる。

Fancher and Jensen³⁰⁾ は、3週齢の雄ブロイラーを用いた3週間の試験において、低CP飼料に5.4%グルタミン酸を添加することで腹腔内脂肪重量を有意に低減できることを示した。このことから、低CP飼料給与による脂肪蓄積の増加の機構は次のように推察される。すなわち、高CP飼料給与時では、タンパク質の合成に利用されない余剰のアミノ酸を分解し、体外に尿酸として排泄するためにエネルギーが消費されるが、低CP飼料給与時では余剰のアミノ酸が少なく、分解に消費されるエネルギーも少なく、エネルギーが脂肪蓄積に回されたものと考えられる。

今後、飼料の低CP化による窒素排泄量の低減にあたっては、これら体脂肪の過剰蓄積の制御を併せて検討することが必要である。

第2章 低タンパク質飼料中のアミノ酸含量がブロイラーの窒素排泄量および脂肪蓄積量の抑制に及ぼす影響

第1節 低タンパク質飼料を給与したブロイラーヒナの窒素排泄量および脂肪蓄積量に及ぼす飼料中の必須アミノ酸／非必須アミノ酸比の影響

要約

低タンパク質飼料中の必須アミノ酸（EAA）と非必須アミノ酸（NEAA）との比が、ブロイラーヒナの成長、窒素排泄量および腹腔内脂肪の蓄積に及ぼす影響を検討するために2つの試験を行った。

CP19%でEAA/NEAA（E/N）比が0.85、1.03および1.17（試験1）、0.76、0.99および1.29（試験2）となるように調製した飼料、CP21%でE/N比が0.96（試験1）および1.04（試験2）の対照飼料を7日齢から14日間給与した。

その結果、E/N比が1.17（試験1）、0.99および1.29（試験2）の飼料を給与したヒナが増体量および飼料効率は、CP21%の対照飼料を給与したヒナとの間に有意差は認められなかった。E/N比が高い飼料を給与したヒナの窒素摂取当たりの窒素排泄量は、いずれの試験においても対照飼料を給与したヒナよりも有意に減少し、試験

2 では飼料の E/N 比の上昇とともに減少する傾向がみられた。腹腔内脂肪重量は CP19%飼料の給与により増加したが、試験2ではE/N比が0.99および1.29の飼料を給与したヒナの腹腔内脂肪重量は、CP21%の対照飼料を給与したヒナとの間に有意差は認められなかった。

以上の結果より、CP19%飼料のE/N比が1.29の飼料を給与すると、対照飼料給与時と同等の成長を示しつつ窒素排泄量(g/4日)を20%低減でき、飼料のタンパク質を下げることによる腹腔内脂肪の蓄積を抑えることができる。

緒 言

近年、市販の単体アミノ酸を添加して飼料中のCP水準を下げようとする試みが行われてきた。Parr and Summers⁸²⁾は、単体アミノ酸を添加したトウモロコシ・大豆粕主体の低CP飼料を7日齢のブロイラーヒナに2週間給与したところ、対照飼料を給与した鶏と同等の成長が得られたと報告している。また、第1章第1節の結果は、単体アミノ酸を添加すれば、成長などに影響を及ぼすことなく飼料中のCP水準を21から19%に低下でき、その時の窒素排泄量を約15%低減できることを示している。しかしながら、飼料の低CP化は腹腔内脂肪の蓄積を増加させた。

家禽の体脂肪蓄積に影響を及ぼすものとして、栄養的または非栄養的な様々な要因が関与するが、その要因の一つが、飼料中のカロリー・タンパク質比(C/P比)である。一般的に、この比が小さくなると脂肪の蓄積が抑えられることが報告されており^{31, 41)}、飼料中のエネルギー水準が一定の場合、タンパク質含量が減少するとC/P比が大きくなり脂肪の蓄積が増加する。一方、Bedford and Summers⁵⁾は、飼料中のタンパク質を構成するアミノ酸に着目し、そのEAAとNEAAの比率の変化が体脂肪蓄積に影響を及ぼすことを明らかにしている。このことから、低CP飼料中のEAAとNEAAの比率を変えた飼料の給与が、腹腔内脂肪の過剰蓄積を抑える可能性が考えられる。

そこで、本研究では、低CP飼料中のE/N比が窒素排泄および腹腔内脂肪蓄積に及ぼす影響を検討した。

材料および方法

市販の雄ブロイラーヒナ(アーバーエーカーフジ)を用いて2回の飼養試験と出納試験を行った。7日齢までは、バッテリーケージで市販の前期用飼料を給与した。7日齢時に、平均体重が等しくなるように2羽ずつ5反復

の4試験区になるように割り付けた。試験飼料は、7から21日齢まで給与した。試験1では、EAAとNEAAの比率(E/N比)が0.85, 1.03および1.17のCP19%飼料と、E/N比が0.96でCP21%の対照飼料を調製した(表2-1)。E/N比が0.85, 1.03および1.17の飼料のアミノ酸含量は、日本飼養標準(1992)⁶⁸⁾の要求量の、それぞれ85, 100および108%を満たすものであった。E/N比が1.03および1.17の飼料は0.85の飼料中のL-グルタミン酸をEAAの混合物で代替した。試験2で用いた飼料の組成は、試験1とほぼ同様であったが、E/N比がより広い飼料を調製した。すなわち、E/N比が0.76, 0.99および1.29で、日本飼養標準(1992)⁶⁸⁾のアミノ酸要求量の、それぞれ80, 100および120%を満たすものであった。

両試験ともに、試験飼料の代謝エネルギー(ME)は3.1kcal/gとした。試験開始後の7日目から11日目にかけての4日間の排泄物の全量を採取し、窒素出納を測定した。試験終了時に、各区から平均体重に近い6羽を選び、腹腔内脂肪重量を測定した。飲水は自由とし、飼養環境はバッテリーケージ、環境温度は25℃、光線管理は24時間照明に設定した。

結果はDuncanの多重範囲検定法⁹⁰⁾により平均値間の差の検定を行った。

結 果

試験1

飼養成績を表2-2に示した。CP19%, E/N比が1.17の飼料を給与したヒナの増体量および飼料効率は、対照飼料(CP21%)を給与したヒナとの間に差は認められず、CP19%のE/N比が低い飼料を給与した区よりも高くなる傾向が認められた。腹腔内脂肪重量は、全てのCP19%飼料区が対照飼料給与区よりも有意に増加した(表2-3,

表2-3 飼料のE/N比が雄ブロイラーヒナの腹腔内脂肪蓄積に及ぼす影響¹⁾

	飼料		腹腔内脂肪重量 (g/100g 体重)	
	CP (%)	E/N 比		
試験 1	21	0.96	0.90 ^b	
	19	0.85	1.40 ^a	
			1.03	1.35 ^a
			1.17	1.28 ^a
Pooled SEM			0.09	
試験 2	21	1.04	0.91 ^b	
	19	0.76	1.42 ^a	
			0.99	1.18 ^{ab}
			1.29	1.14 ^{ab}
Pooled SEM			0.14	

¹⁾ 21日齢時。各区6反復。

^{a,b} 異符号間に5%水準で有意差あり。

P<0.05)。CP19%で E/N 比が 1.17 の飼料および対照飼料を給与したヒナの窒素摂取量は、E/N 比が 1.03 の飼料を給与したヒナよりも有意に多かった（表 2-4, P<0.05）。CP19%飼料を給与したヒナの窒素排泄量は、E/N 比のいかんに関わらず対照飼料を給与したヒナより

も有意に少なかった（P<0.05）。窒素摂取量当たりの窒素排泄量は、CP19%, E/N 比 1.03 および 1.17 の飼料を給与した区が対照区および CP19%, E/N 比 0.85 飼料区よりも有意に低かった（P<0.05）。

表 2-1 試験飼料の組成（%）

CP 含量 (%) E/N 比	試験 1				試験 2			
	21	19			21	19		
	0.96	0.85	1.03	1.17	1.04	0.76	0.99	1.29
トウモロコシ	62.36	71.45	71.45	71.45	63.46	67.25	68.15	69.02
大豆粕 (CP46%)	32.68	19.97	19.97	19.97	28.77	15.90	16.84	17.78
ホワイトフィッシュミール(CP65%)	-	-	-	-	3.00	3.00	3.00	3.00
脱脂米ヌカ	-	-	-	-	-	3.82	1.91	-
大豆油	1.44	1.44	1.44	1.44	2.00	2.00	2.00	2.00
セルロース	-	-	0.79	1.24	-	0.19	1.41	2.64
第 2 リン酸水素カルシウム	1.66	1.80	1.80	1.80	1.22	1.31	1.33	1.35
炭酸カルシウム	1.01	1.03	1.03	1.03	0.89	0.93	0.92	0.90
塩化ナトリウム	0.29	0.29	0.29	0.29	0.24	0.24	0.24	0.24
DL-メチオニン	0.30	0.29	0.42	0.50	0.27	0.21	0.39	0.56
L-リジン塩酸塩	0.06	0.23	0.40	0.49	-	0.09	0.30	0.52
L-アルギニン	0.04	0.22	0.43	0.55	-	0.09	0.36	0.63
L-トレオニン	0.01	0.09	0.20	0.26	-	0.01	0.15	0.30
L-イソロイシン	-	0.04	0.16	0.23	-	-	0.12	0.24
グリシン	-	-	0.10	0.22	-	-	0.11	0.23
L-バリン	-	-	0.10	0.16	-	-	0.08	0.16
L-フェニルアラニン	-	-	0.01	0.11	-	-	0.11	0.22
L-トリプトファン	-	-	0.02	0.04	-	-	0.03	0.06
L-ロイシン	-	-	-	0.01	-	-	-	-
L-グルタミン酸	-	3.00	1.24	0.06	-	3.00	1.50	-
L-アスパラギン酸	-	-	-	-	-	1.81	0.90	-
セルロース	-	-	0.79	1.24	-	0.19	1.41	2.64
ビタミン・ミネラル混合物 ¹	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15
計算値								
ME (kcal/g)	3.10	3.10	3.10	3.10	3.10	3.10	3.10	3.10
CP (%)	21.0	19.0	19.0	19.0	21.0	19.0	19.0	19.0
アミノ酸 ²	100	85	100	108	100	80	100	120

¹ 表 1-1.

² 日本飼養標準・家禽 (1992 年版) の 0 から 3 週齢のブロイラーヒナのアミノ酸要求量を 100 としたときの割合.

表 2-2 飼料の E/N 比が 7 から 21 日齢の雄ブロイラーヒナの成長に及ぼす影響 (試験 1)¹

飼料中 CP 含量 (%) E/N 比	21	19			Pooled SEM
	0.96	0.85	1.03	1.17	
増体量 (g/14 日)	580 ^a	494 ^b	495 ^b	587 ^a	24
飼料摂取量 (g/14 日)	858 ^{ab}	820 ^{ab}	783 ^b	904 ^a	29
飼料効率 (%)	67.5 ^a	60.1 ^c	63.1 ^{bc}	64.9 ^{ab}	1.1

¹ 2 羽 5 反復の平均値.

^{a-c} 異符号間に 5%水準で有意差あり.

表2-4 飼料の E/N 比が 14 から 18 日齢の雄ブロイラーヒナの窒素出納に及ぼす影響 (試験 1)¹

飼料中 CP 含量 (%)	21	19			Pooled
E/N 比	0.96	0.85	1.03	1.17	SEM
窒素摂取量 (g/4 日)	8.49 ^a	7.27 ^{ab}	6.86 ^b	8.25 ^a	0.43
窒素蓄積量 (g/4 日)	5.67 ^a	4.94 ^a	5.03 ^a	5.99 ^a	0.33
窒素排泄量 (g/4 日)	2.82 ^a	2.33 ^b	1.83 ^c	2.26 ^{bc}	0.16
窒素排泄率 (%) ²	33.4 ^a	32.1 ^a	26.8 ^b	27.3 ^b	1.1

¹ 5 反復の平均値。² 窒素摂取量当たりの窒素排泄量の割合。^{a-c} 異符号間に 5%水準で有意差あり。表2-5 飼料の E/N 比が 7 から 21 日齢の雄ブロイラーヒナの成長に及ぼす影響 (試験 2)¹

飼料中 CP 含量 (%)	21	19			Pooled
E/N 比	1.04	0.76	0.99	1.29	SEM
増体量 (g/14 日)	535 ^{ab}	446 ^b	484 ^{ab}	580 ^a	24
飼料摂取量 (g/14 日)	853	772	784	873	48
飼料効率 (%)	62.7 ^{ab}	58.3 ^b	61.4 ^{ab}	66.3 ^a	1.6

¹ 2 羽 5 反復の平均値。^{a,b} 異符号間に 5%水準で有意差あり。表2-6 飼料の E/N 比が 14 から 18 日齢の雄ブロイラーヒナの窒素出納に及ぼす影響 (試験 2)¹

飼料中 CP 含量 (%)	21	19			Pooled
E/N 比	1.04	0.76	0.99	1.29	SEM
窒素摂取量 (g/4 日)	8.57 ^a	7.55 ^b	7.94 ^b	8.88 ^{ab}	0.45
窒素蓄積量 (g/4 日)	5.40 ^a	4.63 ^b	5.35 ^b	6.38 ^a	0.30
窒素排泄量 (g/4 日)	3.17 ^a	2.91 ^{ab}	2.59 ^{ab}	2.50 ^b	0.20
窒素排泄率 (%) ²	32.9 ^b	38.6 ^a	32.7 ^b	28.2 ^c	1.1

¹ 5 反復の平均値。異符号間に 5%水準で有意差あり。² 窒素摂取量当たりの窒素排泄量の割合。^{a-c} 異符号間に 5%水準で有意差あり。

試験 2

CP19%区の増体量および飼料効率は、飼料の E/N 比の上昇とともに有意に高くなった (表 2-5, $P<0.05$)。腹腔内脂肪重量は、CP19%で E/N 比が 0.99 および 1.29 の飼料を給与した区と対照区との間に有意差は認められなかった。CP19%区の窒素蓄積量は、E/N 比が高くなるとともに増加し、E/N 比が 1.29 の飼料を給与した区と、0.76 および 0.99 の飼料を給与した区との間に有意差がみられた ($P<0.05$)。CP19%で E/N 比が 1.29 の飼料を給与した区の窒素排泄量は、対照飼料を給与した区よりも約 21%低減され、窒素摂取量当たりの窒素排泄量も有意に低下した (表 2-6, $P<0.05$)。

考 察

日本飼養標準の EAA 要求量を満たすようにまたは超

えるように EAA を添加した CP19%の低 CP 飼料を給与したヒナの飼養成績は、CP21%の対照飼料を給与したヒナと同等であった。この結果は、成長に影響を及ぼすことなく飼料中の CP 水準を 21 から 19%まで下げることができることとした第 1 章第 1 節の結果と一致する。Waldroup ら 106) も、適切な飼料原料を用いた、EAA 要求量を満たした低 CP 飼料を給与することにより、ブロイラーを効率的に飼養できることを示している。

両試験において、E/N 比が低い CP19%の低 CP 飼料に EAA を添加することにより、増体量および飼料効率は CP21%飼料を給与したヒナと同程度まで改善した。Bedford and Summers⁵⁾ は、飼料中の E/N 比は飼養成績に影響を及ぼし、最高の飼養成績は E/N 比が 1.22 の時に得られることを示している。Matsuno ら⁵⁵⁾ も、ラットを用いた試験で E/N 比が 1.22 の飼料を給与したときに最

も優れた増体量が得られたと報告している。本試験の結果は、これらの報告の結果を再確認した。

本実験は、CP19%で E/N 比が 1.2~1.3 の飼料が CP21%の対照飼料給与よりも、窒素排泄量を約 20%低減することを初めて明らかにした。ラットの試験においては、窒素蓄積量は、E/N 比が 1.22 の飼料を給与した区で最も多くなることが報告されており⁵⁵⁾、本試験の窒素蓄積量も同様に E/N 比が高い区が最も多かった。窒素排泄量低減の要因として、窒素の摂取量の低減と蓄積率の改善が考えられ、CP21%の対照飼料区と E/N 比が最も高い CP19%区を比較した場合、窒素摂取量の違いは認められないものの、窒素蓄積量はいずれの試験でも CP19%区の方が多い。低 CP 化と高 E/N 比飼料の給与による窒素の蓄積効率の上昇は、高 CP 飼料給与時に利用されずに排泄されていた窒素の減少と、アミノ酸組成が鶏の要求する組成に近づいたことによるものと考えられる。しかしながら、Matsuno ら⁵⁵⁾によると、更なる E/N 比の上昇は窒素蓄積量の減少をもたらすとされることから、E/N 比と窒素排泄量との関係については更なる検討が必要と考えられる。

本試験の結果は、また、CP が 19%と低 CP の飼料であっても、E/N 比が高くなるとともに、腹腔内脂肪の蓄積が少なくなる傾向が見られ、試験 2 においては、E/N 比が高い飼料を給与した区と CP21%の対照区との間に有意差が無くなることを明らかにした。この結果は、1 から 3 週齢の雄ブロイラーにおいて、飼料中の E/N 比が高くなると屠体の脂肪含量が減少することを報告した Bedford and Summers⁵⁾ の報告と一致する。彼らは、E/N 比が体のタンパク質と脂肪へのエネルギー分配に影響を及ぼし、E/N 比が高いときにはエネルギーが体脂肪よりも体タンパク質合成に利用されると推察している。本試験で観察された E/N 比が高い飼料区の飼養成績の改善は、これらのことが起因している可能性が考えられる。飼料中の含硫アミノ酸含量³⁸⁾、あるいはリジンとアルギニン⁵⁰⁾ 含量を不足量から要求量の水準まで高めたときに、体脂肪蓄積量の減少がこれまでの報告で認められている。Mendonca and Jensen⁵⁶⁾ も、低 CP 飼料中のメチオニン含量が過剰な飼料を給与することにより体脂肪蓄積量が減少すると報告している。アミノ酸が体脂肪の蓄積を抑える可能性については更なる検討が必要であるが、CP19%飼料給与時の腹腔内脂肪の蓄積量を最小にする EAA 要求量は、CP21%飼料給与時よりも高いと考えられる。

以上の結果から、CP19%で E/N 比が 1.29 の飼料の給

与により、CP21%飼料給与区と同等の飼養成績を示しつつ、体脂肪の過剰蓄積を抑えながら窒素排泄量を約 20%低減できることが明らかになった。

第 2 節 低タンパク質飼料への過剰量の必須アミノ酸添加がブロイラーヒナの脂肪蓄積量に及ぼす影響

要 約

ブロイラーヒナにおいて、過剰量の必須アミノ酸が、飼養成績および腹腔内脂肪の蓄積に及ぼす影響を検討するために 2 つの試験を行った。

必須アミノ酸を、①分岐鎖アミノ酸（ロイシン+イソロイシン+バリン）②ヒドロキシアミノ酸（トレオニン）③含硫アミノ酸（メチオニン）④芳香族アミノ酸（フェニルアラニン+チロシン）⑤塩基性アミノ酸（リジン+アルギニン）⑥グリシンおよび⑦トリプトファンの 7 グループに分け、CP19%飼料に試験 1 では日本飼養標準の 150%、試験 2 では 200%となるようにそれぞれ添加した。これらの飼料と、CP19%の基礎飼料および CP21%の対照飼料を 7 日齢のヒナに 14 日間給与した。

その結果、増体量および飼料効率は、CP21%の対照飼料と CP19%の飼料との間に差は見られなかったが、試験 2 の Met 添加区のみが有意に低下した。アミノ酸添加による飼料摂取量の減少は認められなかった。体重あたりの腹腔内脂肪重量は、試験 1 ではすべての CP19%飼料給与区で対照飼料区よりも増加したが、試験 2 では Gly および Trp 添加区でのみ対照飼料区よりも増加した。

以上の結果から、低 CP 飼料に必須アミノ酸を過剰に添加しても腹腔内脂肪蓄積にはほとんど影響しないことが示された。

緒 言

第 1 章第 1 節で、飼料中の CP 含量を 21 から 19%に低下させても、飼養成績に影響を及ぼすことなく窒素排泄量を低減できることを、第 2 章第 1 節で低 CP 飼料給与時に問題となる腹腔内脂肪の過剰蓄積も、飼料中の非必須アミノ酸に対する必須アミノ酸の比率を高めることにより、防止できることを示した。一方、Geraert ら³²⁾ は、遺伝的に脂肪系と赤肉系の鶏の血漿中遊離アミノ酸濃度を比較したところ、ほとんどの糖原性アミノ酸の濃度は脂肪系の方が低く、分岐鎖および含硫アミノ酸濃度は脂肪系の方が高いと報告していることから、アミノ酸が脂肪蓄積に何らかの影響を示している可能性が考えられる。これまで、飼料へのメチオニン³⁸⁾ およびアルギニ

ン添加 50) が体脂肪蓄積を減少させる可能性が、ブロイラーおよび遺伝的に脂肪系の鶏で、それぞれ示されている。Rogers and Pesti⁸⁴⁾ は、ブロイラーにおいて、トリプトファン不足飼料にトリプトファンを添加したところ、肝臓の脂質含量が減少したと報告している。しかしながら、これらの試験は、それぞれの必須アミノ酸が不足した飼料に対して、要求量の水準まで添加したものであり、過剰量の添加がブロイラーの体脂肪蓄積に及ぼす影響を検討した報告はない。

そこで本試験では、アミノ酸が体脂肪蓄積に及ぼす影響を明らかにするために、低 CP 飼料への過剰量の必須アミノ酸の添加が、飼養成績および腹腔内の脂肪蓄積に及ぼす影響を検討した。

材料および方法

市販の雄ブロイラーヒナ（アーバーエーカーフジ）を用いて 2 回の飼養試験と出納試験を行った。7 日齢までは、バタリーケージで市販の前期用飼料を給与して予備飼育した。7 日齢時に、平均体重が等しくなるように 3 羽ずつ 3 反復の 9 試験区になるように割り付けた。試験飼料は、7 から 21 日齢まで給与した。両試験とも、試験飼料はトウモロコシ・大豆粕主体で、代謝エネルギー含量が等しく (3.1kcal/g) なるように設定した (表 2-7)。試験 1 では、必須アミノ酸をその構造および特徴により、分岐鎖アミノ酸（ロイシン、イソロイシン、バリン）、ヒドロキシアミノ酸（トレオニン）、含硫アミノ酸（メチオニン）、芳香族アミノ酸（フェニルアラニン、チロシン）、塩基性アミノ酸（リジン、アルギニン）、グリシン、トリプトファンの、計 7 つのグループに分けた。これらのアミノ酸を、CP19%の基礎飼料に、要求量の 150%になるように配合した飼料、そして、対照飼料（CP21%）の合計 9 種類の飼料を調製した（表 2-8）。各アミノ酸は、基礎飼料中の L-グルタミン酸に置き換えて添加した。なお、CP19%の基礎飼料および CP21%の対照飼料は日本飼養標準（1992）⁶⁸⁾ のアミノ酸要求量を満たすように調製した。試験 2 では、試験飼料の種類は、添加するアミノ酸の水準が日本飼養標準（1992）の 200%とした他は、試験 1 とほぼ同じであった。

両試験とも、環境温度は 25 から 28℃の間、光線管理は 24 時間照明に設定した。試験終了時に、全ての鶏の腹腔内脂肪重量を測定した。

結果は Duncan の多重範囲検定法⁹⁰⁾ により平均値間の差の検定を行った。

表 2-7 試験飼料の組成

CP 含量 (%)	試験 1		試験 2	
	21 対照	19 基礎	21 対照	19 基礎
トウモロコシ	57.90	66.96	62.12	67.40
大豆粕 (CP46%)	34.34	22.78	24.40	20.65
コーン・リジンミール (CP60%)	-	-	5.39	-
魚粉 (CP65%)	3.00	3.00	3.00	3.00
大豆油	2.00	2.00	1.95	1.95
第 2 リン酸水素カルシウム	1.22	1.33	1.29	1.35
炭酸カルシウム	0.88	0.89	0.90	0.89
塩化ナトリウム	0.24	0.24	0.24	0.24
DL-メチオニン	0.27	0.38	0.24	0.40
L-リジン塩酸塩	-	0.22	0.12	0.28
L-アルギニン	-	0.35	0.20	0.41
L-トレオニン	-	0.14	-	0.17
L-イソロイシン	-	0.05	-	0.09
L-トリプトファン	-	0.01	-	0.02
L-グルタミン酸	-	1.50	-	3.00
ビタミン・ミネラル混合物 ¹	0.15	0.15	0.15	0.15
計算値				
ME (kcal/g)	3.10	3.09	3.10	3.10
CP (%)	21.0	18.7	21.0	19.0

¹ 表 1-1.

結 果

表 2-9 に試験 1 の結果を示した。塩基性アミノ酸とトリプトファン添加区の増体量は、CP19%の基礎飼料区よりも有意に高かったが (P<0.05)、その他の区との間に差は認められなかった。トリプトファン添加区の飼料摂取量が各区の間で最も多かった。飼料効率は、分岐鎖アミノ酸添加区が CP19%の基礎飼料区よりも有意に高かった (P<0.05)。腹腔内脂肪重量は、CP19%の飼料給与により有意に増加したが (P<0.05)、アミノ酸添加の効果は認められなかった (図 2-1)。

試験 2 において、増体量はメチオニン添加区が他区よりも有意に低かった以外に、差は認められなかった (表 2-10)。飼料摂取量は、分岐鎖アミノ酸添加区がメチオニン、芳香族アミノ酸添加区および対照区よりも有意に多かったが (P<0.05)、その他の試験区間に差は認められなかった。腹腔内脂肪重量は、グリシンおよびトリプトファン添加区が対照区よりも有意に多かったが (P<0.05)、他の区間に差は認められなかった (図 2-2)。

表 2-8 試験飼料中のアミノ酸組成 (%)¹

	要求量 ²	対照	基礎	BCAA ³	Thr	Met	AAA ³	BAA ³	Gly	Trp
Arg	1.40	1.39(1.40) ⁴	1.40(1.40)	※ ⁵	※	※	※	2.10(2.80)	※	※
Gly+Ser	1.45	1.96(1.84)	1.55(1.47)	※	※	※	※	※	2.18(2.90)	※
Ile	0.78	0.96(0.90)	0.78(0.78)	1.17(1.56)	※	※	※	※	※	※
Leu	1.31	1.86(2.10)	1.54(1.47)	1.97(2.62)	※	※	※	※	※	※
Lys	1.16	1.26(1.16)	1.16(1.16)	※	※	※	※	1.74(2.32)	※	※
Met+Cys	0.90	0.90(0.90)	0.90(0.90)	※	※	1.35(1.80)	※	※	※	※
Phe+Tyr	1.30	1.79(1.82)	1.41(1.33)	※	※	※	1.95(2.60)	※	※	※
Thr	0.77	0.81(0.76)	0.77(0.77)	※	1.16(1.54)	※	※	※	※	※
Trp	0.22	0.28(0.24)	0.22(0.22)	※	※	※	※	※	※	0.33(0.44)
Val	0.79	1.05(1.01)	0.83(0.79)	1.19(1.58)	※	※	※	※	※	※

¹ 計算値.² 日本飼養標準 (1992) の要求量.³ BCAA, 分岐鎖アミノ酸 (ロイシン+イソロイシン+バリン); AAA, 芳香族アミノ酸 (フェニルアラニン+チロシン); BAA, 塩基性アミノ酸 (リジン+アルギニン)⁴ 試験 2 で用いた飼料のアミノ酸組成は括弧内に示した.⁵ 基礎飼料と同じ.表 2-9 飼料への過剰量のアミノ酸添加が 7 から 21 日齢の雄ブロイラーヒナの成長に及ぼす影響 (試験 1)¹

飼料中 CP 含量 (%)	21		19							Pooled SEM
	対照	基礎	BCAA ²	Thr	Met	AAA ²	BAA ²	Gly	Trp	
増体量 (g/14 日)	575 ^{ab}	532 ^b	611 ^{ab}	569 ^{ab}	574 ^{ab}	585 ^{ab}	615 ^a	599 ^{ab}	617 ^a	24.5
飼料摂取量 (g/14 日)	854 ^{ab}	802 ^b	869 ^{ab}	835 ^{ab}	837 ^{ab}	856 ^{ab}	886 ^{ab}	870 ^{ab}	898 ^a	27.2
飼料効率 (%)	67.2 ^{ab}	66.3 ^b	70.3 ^a	68.1 ^{ab}	68.5 ^{ab}	68.4 ^{ab}	69.4 ^{ab}	68.9 ^{ab}	68.7 ^{ab}	1.05

¹ 3 羽 3 反復の平均値.² BCAA, 分岐鎖アミノ酸 (ロイシン+イソロイシン+バリン); AAA, 芳香族アミノ酸 (フェニルアラニン+チロシン); BAA, 塩基性アミノ酸 (リジン+アルギニン)^{ab} 異符号間に 5% 水準で有意差あり.表 2-10 飼料への過剰量のアミノ酸添加が 7 から 21 日齢の雄ブロイラーヒナの成長に及ぼす影響 (試験 2)¹

飼料中 CP 含量 (%)	21		19							Pooled SEM
	対照	基礎	BCAA ²	Thr	Met	AAA ²	BAA ²	Gly	Trp	
増体量 (g/14 日)	564 ^{abc}	541 ^{bcd}	649 ^a	554 ^{bc}	458 ^d	508 ^{cd}	539 ^{bcd}	561 ^{abc}	606 ^{ab}	27.5
飼料摂取量 (g/14 日)	825 ^{bc}	841 ^{abc}	943 ^a	853 ^{abc}	744 ^c	790 ^c	834 ^{abc}	839 ^{abc}	932 ^{ab}	35.1
飼料効率 (%)	68.4 ^a	64.4 ^b	68.8 ^a	65.1 ^{ab}	61.4 ^b	64.1 ^{ab}	64.5 ^{ab}	66.7 ^a	65.1 ^{ab}	1.43

¹ 3 羽 3 反復の平均値.² BCAA, 分岐鎖アミノ酸 (ロイシン+イソロイシン+バリン); AAA, 芳香族アミノ酸 (フェニルアラニン+チロシン); BAA, 塩基性アミノ酸 (リジン+アルギニン)^{ab} 異符号間に 5% 水準で有意差あり.

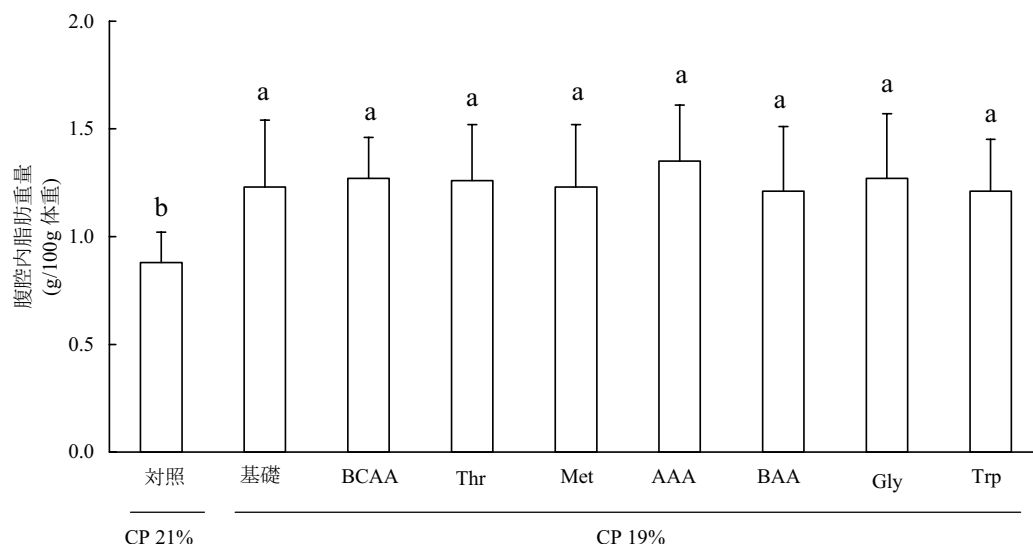


図2-1 飼料への過剰量のアミノ酸添加が雄ブロイラーヒナの腹腔内脂肪蓄積に及ぼす影響 (試験1)
BCAA, 分岐鎖アミノ酸 (ロイシン+イソロイシン+バリン); AAA, 芳香族アミノ酸 (フェニルアラニン+チロシン); BAA, 塩基性アミノ酸 (リジン+アルギニン)
平均値±標準偏差. 異符合間に5%水準で有意差あり.

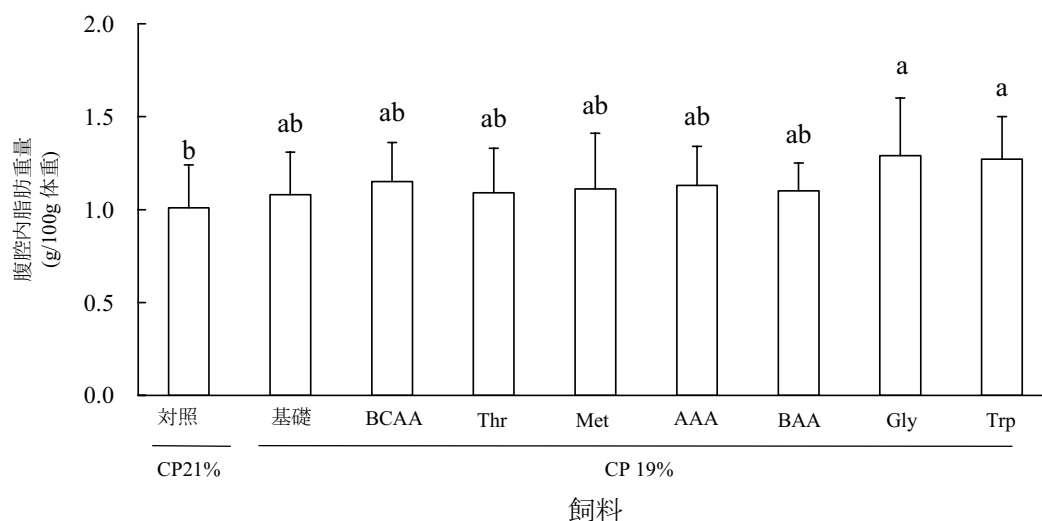


図2-2 飼料への過剰量のアミノ酸添加が雄ブロイラーヒナの腹腔内脂肪蓄積に及ぼす影響 (試験2)
BCAA, 分岐鎖アミノ酸 (ロイシン+イソロイシン+バリン); AAA, 芳香族アミノ酸 (フェニルアラニン+チロシン); BAA, 塩基性アミノ酸 (リジン+アルギニン)
平均値±標準偏差. 異符合間に5%水準で有意差あり.

考 察

試験1および2において、日本飼養標準 (1992)⁶⁸⁾ のアミノ酸要求量を満たすように単体アミノ酸を添加したCP19%の基礎飼料を給与した鶏の増体量および飼料摂取量は、CP21%の対照飼料を給与した鶏と同等であった。この結果は、飼料中のCP含量を増体量に影響を及ぼすことなく21%から19%に低下できるとした第1章第1

節の結果と一致した。しかしながら、試験2において、CP19%の基礎飼料区の飼料効率が対照区よりも有意に低下した。一方、第2節では、CP19%の低CP飼料中の必須アミノ酸の水準を要求量の120%程度に設定した飼料を給与することにより、最大の飼料効率を得られている。Mackら⁵⁴⁾も、最大の飼料効率のためのメチオニン、リジン、トレオニンおよびアルギニン要求量は、最大の

増体量のためのアミノ酸要求量よりも高い可能性を示している。

多くのアミノ酸は、過剰量を給与すると、増体量や飼料摂取量の低下などの毒性を示す^{17, 35)}。本試験では、試験2のメチオニン添加区で増体量および飼料摂取量の低下が見られた以外は、アミノ酸の過剰添加による悪影響は認められなかった。メチオニンは、過剰症状が出やすいアミノ酸の一つであることは、Edmonds and Baker²⁸⁾によって明らかにされている。試験1および2のメチオニン添加区の含硫アミノ酸含量は、それぞれ1.35および1.80%（DL-メチオニン添加量はそれぞれ0.8および1.3%）であった。この結果は、DL-メチオニンを0.5%添加しても増体量や飼料効率に影響は見られないが、1%添加した場合、増体量および飼料摂取量が大きく低下するとの報告³⁵⁾とほぼ一致する。

ブロイラーにおいて、飼料中の含硫アミノ酸の不足は体脂肪蓄積を増加させることが知られている。Huyghebaert and Pack³⁸⁾は、骨付きすね肉の脂肪含量が飼料中の含硫アミノ酸水準が高くなるとともに減少することを観察している。Bunchasakら¹³⁾も、含硫アミノ酸含量が0.64%の飼料にメチオニンおよびシスチンを添加することにより腹腔内脂肪重量および肝臓のトリグリセリド含量が減少することを報告している。これらの報告において、要求量以上の更なる含硫アミノ酸の添加は脂肪含量に影響を及ぼさなかった。本研究においても試験1および2の双方でメチオニン添加による腹腔内脂肪の減少は認められなかったことから、過剰量の含硫アミノ酸の添加が体脂肪蓄積に及ぼす影響は小さいと考えられる。

これまで、飼料へのアルギニン添加が体脂肪蓄積を⁵⁰⁾、トリプトファン添加が肝臓の脂質含量を低下させること⁸⁴⁾が示されているが、要求量を超えての添加の効果は明らかではない。本試験において、過剰量のリジン・アルギニン、トリプトファン添加は腹腔内脂肪蓄積に影響を及ぼさなかったことから、これらのアミノ酸の過剰添加が体脂肪の蓄積に影響を及ぼすことは考えにくい。E/N比が高い飼料の給与がブロイラーの屠体脂肪含量および腹腔内脂肪重量の減少をもたらす可能性がBedford and Summers⁵⁾および第1節において示唆されているが、本試験の結果から、そのような現象は特定のアミノ酸の効果ではなく、全ての必須アミノ酸の総合的な効果によるものと推察された。

Hanら³⁶⁾は、ブロイラーヒナにおいてCP19%の低CP飼料を給与している場合、非必須アミノ酸の生合成も制

限要因になる可能性があるため、ある程度の非必須アミノ酸も最大の成長およびバランスのとれた体組成のために必要であることを明らかにした。Bunchasakら¹²⁾はCP17.4%の低CP飼料にグリシンおよびグルタミン酸を0.5%添加することにより、肝臓のトリグリセリド含量および腹腔内脂肪蓄積が減少したことを報告している一方、その逆の結果の報告も示されている²⁵⁾。ブロイラーにおけるこれらのアミノ酸と体脂肪蓄積との関係については更なる検討が必要である。

以上の結果から、CP19%飼料に過剰量の必須アミノ酸を添加した飼料を給与しても腹腔内脂肪蓄積にほとんど影響を及ぼさないことが示された。

第3章 低タンパク質飼料給与時のブロイラーの体脂肪蓄積抑制に関する検討

第1節 低タンパク質飼料の制限給餌がブロイラーヒナの脂肪蓄積量に及ぼす影響

要 約

低CP飼料給与時の脂肪蓄積の増加の原因が、低CP飼料給与区の炭水化物等の摂取量が高CP飼料給与区よりも多いことによるか否かの検討を行った。

CP21%の対照飼料給与区、CP19%の低CP飼料給与区、CP21%の対照飼料給与区と等量の粗タンパク質以外の栄養素、CP19%の低CP飼料給与区と等量の粗タンパク質を摂取させる制限給餌区の合計3試験区を設け、14日齢の雄ブロイラーヒナに2週間給与した。窒素出納を測定するとともに試験終了時に腹腔内脂肪重量および肝臓の脂質代謝関連酵素活性を測定した。

その結果、増体量および飼料効率は各区间に有意差は認められなかったが、制限給餌区で低くなる傾向がみられた。腹腔内脂肪重量は、低CP飼料給与区で高くなる傾向がみられ、制限給餌区では更に増加する傾向がみられた。窒素排泄量は、各区の間に有意差は認められなかったものの、低CP飼料給与区および制限給餌区で減少する傾向がみられ、窒素摂取に対する窒素排泄の割合も低下する傾向がみられた。肝臓の脂質代謝関連酵素活性のうち合成系のfatty acid synthase活性は、低CP飼料給与区で高くなり、制限給餌区で低下する傾向がみられた。一方、分解系酵素のcarnitine palmitoyl transferase活性は、制限給餌区で低下する傾向がみられた。

以上の結果から、低CP飼料給与による脂肪蓄積の増加は、炭水化物等の摂取量増加以外の要因によりもたら

される可能性が示唆された。

緒 言

第1章第1節では、低 CP 飼料の給与により腹腔内脂肪の蓄積が増加することを示し、その要因として飼料中のエネルギーとタンパク質の比、すなわちカロリー・タンパク質比 (C/P 比) の上昇を示唆したが、その詳細については不明な点が多い。これまでのところ、高 CP 飼料給与時は、体タンパク質の合成に利用されない余剰のアミノ酸を分解し、体外に尿酸として排泄するためのエネルギーが必要とされ、低 CP 飼料給与時は余剰のアミノ酸が少なく、分解に消費されるエネルギーも少ないため、その分のエネルギーが脂肪蓄積に分配されと考えられている。一方で、ほぼ同じ原料で高 CP 飼料と低 CP 飼料を設計すると、低 CP 飼料ではタンパク質源の飼料原料の配合割合が低く、その炭水化物を中心とする穀物類の配合割合が高くなり、等エネルギー含量になるように設計してもそのような傾向がみられる。そこで本試験では、低 CP 飼料給与時と等量の CP 摂取量で炭水化物等の摂取量を制限したときに、脂肪蓄積が抑制できるか否か検討するとともに、その時の肝臓の脂質代謝関連酵素活性を測定した。

材料および方法

市販の雄ブロイラーヒナ (チャンキー) を用いた飼養試験および出納試験を行った。2 週齢までは、バッテリーケージで市販の前期用飼料を給与した。14 日齢時に平均体重が等しくなるように 1 羽ずつ 5 反復の 3 試験区になるように割り付けた。試験飼料は、14 から 28 日齢まで給与した。試験飼料は、濃縮大豆タンパク (CP65%) を唯一のタンパク質源とする、等エネルギー含量で CP21% および CP19% の半精製飼料を調製した (表 3-1)。CP19% 飼料区の濃縮大豆タンパク質および CP21% 飼料区のコーンスターチ、ミネラルおよびビタミンを等量摂取するように制限給餌する区を設けた (図 3-1)。全ての飼料のエネルギーおよび CP 以外の栄養素含量は、日本飼養標準 (1997)⁽⁶⁹⁾ の養分要求量を満たすものであった。

試験開始後の 24 日齢時から 28 日齢時までの 4 日間の排泄物の一部を採取し、酸化クロムによる指示物質法により窒素出納を測定した。試験終了時に、全ての鶏の肝臓を採取し、腹腔内脂肪重量を測定した。

肝臓は、3mmol/l HEPES および 1mmol/l EDTA を含む 250mmol/l シュウクロース緩衝液中でテフロンホモジナイザーを用いて 10% ホモジナイズ液を調製した。ホモジ

表 3-1 試験飼料の組成

給与飼料	CP21%区	CP19%区	制限給餌区
コーンスターチ	63.18	66.25	63.18
濃縮大豆蛋白(CP65%)	31.88	28.70	28.70
セルロース	0.51	0.51	0.51
メチオニン	0.37	0.43	0.43
トレオニン	-	0.05	0.05
第2リン酸水素カルシウム	2.50	2.50	2.50
炭酸カルシウム	0.83	0.83	0.83
塩化ナトリウム	0.48	0.48	0.48
ビタミン・ミネラル混合物 ¹	0.15	0.15	0.15
酸化クロム	0.10	0.10	0.10
合計	100.00	100.00	96.93
計算値			
ME(kcal/g)	3.10	3.10	-
CP(%)	21.0	19.0	-

制限給餌区の飼料摂取量は CP21%区および CP19%区の飼料摂取量の約 97%になるように設定した。

¹表 1-1

ナイズは 500×g で 10 分間遠心分離後、上澄みの一部を脂肪酸分解の指標の carnitine palmitoyltransferase 活性測定⁷⁾に用いた。残りの上澄みは 100,000×g で 60 分間遠心分離し、上澄みを脂肪酸合成の指標である malic enzyme⁷⁵⁾ および fatty acid synthase⁴⁵⁾ 活性測定に用いた。それぞれの粗酵素液のタンパク質含量は Lowry ら⁵³⁾の方法で測定した。

結果は Duncan の多重範囲検定法⁹⁰⁾により平均値間の差の検定を行った。

結 果

増体量は各区間に有意差は認められなかったが、制限給餌区で低くなる傾向がみられた (表 3-2)。飼料効率、CP19%飼料給与区で高くなる傾向がみられ、制限給餌区では有意差は認められなかったが低下する傾向がみられた。肝臓重量は試験区間に差が認められなかった (表 3-3)。腹腔内脂肪重量は、低 CP 飼料給与区で高くなり、制限給餌区では更に増加する傾向がみられた。窒素排泄量は、各区の間に有意差は認められなかったものの、低 CP 飼料給与区および制限給餌区で減少する傾向がみられ、窒素摂取量に対する窒素排泄量の割合も低下する傾向がみられた (表 3-4)。肝臓の脂質代謝関連酵素活性のうち合成系の fatty acid synthase 活性は、低 CP 飼料給与区で高くなり、制限給餌区で低下する傾向がみられた (表 3-5)。もう一つの合成系酵素である malic enzyme 活性は、低 CP 飼料給与区および制限給餌区で高くなる傾向がみられたが、各区間に有意差は認められなかった。一方、分解系酵素の carnitine palmitoyl transferase 活性は、制限給餌区で低下する傾向がみられた。

表 3-2 飼料の CP 水準および制限給餌がブロイラーヒナの飼養成績に及ぼす影響¹

	CP21%	CP19%	制限給餌区	Pooled SEM
増体量 (g/14 日)	376	399	360	12.9
飼料摂取量 (g/14 日)	741	735	725	35.9
飼料効率	51.2	54.9	49.9	2.94

¹ 5 反復の平均値表 3-3 飼料の CP 水準および制限給餌がブロイラーヒナの肝臓および腹腔内脂肪重量に及ぼす影響¹

	CP21%	CP19%	制限給餌区	Pooled SEM
肝臓重量 (g/100g 体重)	2.03	2.07	2.09	0.082
腹腔内脂肪重量 (g/100g 体重)	0.107	0.170	0.220	0.0356

¹ 5 反復の平均値表 3-4 飼料の CP 水準および制限給餌がブロイラーヒナの窒素出納に及ぼす影響¹

	CP21%	CP19%	制限給餌区	Pooled SEM
窒素摂取量 (g/4 日/羽)	8.30	7.34	7.79	0.477
窒素排泄量 (g/4 日/羽)	1.78	1.49	1.46	0.175
窒素蓄積量 (g/4 日/羽)	6.52	5.85	6.33	0.491
窒素排泄率 ² (%)	22.1	20.5	18.6	2.47

¹ 5 反復の平均値² 窒素摂取量に対する窒素排泄量の割合表 3-5 飼料の CP 水準および制限給餌がブロイラーヒナの肝臓脂質代謝関連酵素活性に及ぼす影響¹

	CP21%	CP19%	制限給餌区	Pooled SEM
Fatty Acid Synthase				
(nmol/min/mg タンパク質)	384	418	275	52.2
(μmol/min/g 組織)	46.0	51.3	34.9	7.38
(μmol/min/100g 体重)	93.2	106.5	73.2	16.08
Malic Enzyme				
(nmol/min/mg タンパク質)	100	114	108	8.2
(μmol/min/g 組織)	12.0	13.8	13.5	1.02
(μmol/min/100g 体重)	24.4	28.6	28.4	2.64
Carnitine Palmitoyl Transferase				
(μmol/min/mg タンパク質)	20.0	19.9	17.6	1.60
(mmol/min/g 組織)	1.75	1.69	1.54	0.147
(mmol/min/100g 体重)	3.54	3.56	3.21	0.353

¹ 5 反復の平均値

考 察

既往の報告より、飼料エネルギー水準の増加、あるいは飼料 CP 水準の低下によるカロリー・タンパク質比 (C/P 比) の上昇により体脂肪が増加することが明らかになっているが⁴¹⁾、飼料のエネルギー水準と CP 水準を同時に下げた場合、すなわち C/P 比が同一で CP 水準が異なる飼料の給与が、成長および体脂肪蓄積に及ぼす影

響についても検討が行われている。それによると、飼料 CP 水準の低下とともに体脂肪が減少するが、増体量の減少および飼料効率の有意な低下も認められ⁹⁷⁾、飼養成績を低下させることなく体脂肪蓄積のみを抑えることは難しいと考えられる。一方、豚においても、単体アミノ酸を添加した低 CP 飼料のエネルギー水準を変化させた飼料を給与する肥育試験が行われているが、エネルギー

水準の低下に伴う体脂肪蓄積の減少は観察されず⁴⁶⁾、エネルギー水準の低下は飼養成績に影響を及ぼさないものの、仕上げ期の肥育豚の体脂肪蓄積抑制対策としては有効でないことを示している。本試験では、有意差は認められなかったものの、制限給餌区の腹腔内脂肪重量はCP21%の対照飼料区よりも増加する傾向が認められた。

ラットおよびマウスにおける脂肪酸合成の主要臓器は脂肪組織と考えられ、脂肪酸の50%以上が脂肪組織において合成される⁸⁵⁾。また、豚においてはほとんどの脂肪酸が脂肪組織において合成されている⁷⁶⁾。一方、鶏の脂肪組織における脂肪酸合成能はラットと比較して著しく低いこと³³⁾、鶏は肝臓において脂肪酸の大部分を合成していることが示されており⁷⁷⁾、肝臓の脂肪酸合成酵素活性が鶏の脂肪酸合成の指標として検討されてきた¹⁰²⁾。それによると、飼料中のタンパク質含量の減少により、脂肪酸合成酵素活性が上昇することが明らかにされている¹⁰³⁾。本試験の制限給餌区は、CP19%飼料給与区とタンパク質摂取量が等量で炭水化物等の摂取量が少なくなるように設定したが、肝臓の fatty acid synthase 活性は、CP19%飼料給与区よりも低下する傾向がみられた。これは、エネルギー摂取量減少によるものと推察されるが、腹腔内脂肪重量は逆に増加する傾向がみられた。制限給餌区における脂肪酸分解系酵素である carnitine palmitoyl transferase 活性は、CP19%飼料給与区よりも低下する傾向がみられており、合成系酵素活性の低下よりも、分解系酵素活性の低下の影響の方が大きかったことが考えられる。一方、田中ら¹⁰⁴⁾は、脂肪と炭水化物含量を一定にしタンパク質含量のみを増加させた飼料をヒナに給与したところ、エネルギー摂取量は増加しているにもかかわらず肝臓における脂肪酸合成酵素活性が低下し、タンパク質摂取量が肝臓の脂質代謝に大きく影響することを示唆している。本試験では、タンパク質摂取量が同等でエネルギー摂取量を制限した条件下でも腹腔内脂肪が増加する傾向がみられたことから、低 CP 飼料給与時の脂肪蓄積増加は、炭水化物摂取量の増加よりも、タンパク質摂取量の減少によるところが大きい可能性が示唆された。

第2節 低タンパク質飼料へのクロム酵母の添加がブロイラーヒナにおける窒素排泄量および脂肪蓄積量に及ぼす影響

要 約

低 CP 飼料へのクロム酵母添加が、ブロイラーヒナの

成長、窒素排泄量および腹腔内脂肪の蓄積に及ぼす影響を検討するために2つの試験を行った。

CP19%の低 CP 飼料に、クロム酵母をクロムとして0、200 および 400ppb 添加した飼料、CP21%の対照飼料を1週齢から3週間給与する試験を2回行った。

その結果、増体量はクロム酵母添加により低下する傾向がみられ、試験2においては有意な低下が認められた。CP19%飼料給与区の飼料効率、CP21%の対照飼料区よりも有意に低かった。腹腔内脂肪重量は、CP19%飼料給与により有意に増加したが、クロム酵母添加の効果は認められなかった。血漿中の脂質代謝関連成分濃度にクロム酵母添加の効果は認められなかった。CP19%飼料を給与したヒナの窒素排泄量は、いずれの試験においても対照飼料を給与したヒナよりも有意に減少した。

以上の結果より、CP19%飼料の給与により窒素排泄量を低減できることが確認できたものの、低 CP 飼料給与による腹腔内脂肪の蓄積を飼料へのクロム酵母添加により抑えられないことが明らかになった。

緒 言

第1章第1節の結果は、単体アミノ酸を添加した低 CP 飼料の給与により、窒素排泄量を有意に低減できることを示している。しかしながら、飼料の低 CP 化は腹腔内脂肪の蓄積を増加させた。第2章第1節では飼料中の必須アミノ酸と非必須アミノ酸の比率が脂肪蓄積に及ぼす影響を検討し、必須アミノ酸の比率を高めることにより腹腔内脂肪重量が少なくなることを明らかにした。しかしながら、飼料中の必須アミノ酸の比率を高めた飼料を調製するためには、現在飼料添加物として認められていないアミノ酸を添加する必要があるなど、必ずしも実用的ではない。そこで本節では、低 CP 飼料給与時の脂肪蓄積の増加を抑制する方法として、クロム酵母を取り上げ、その添加がブロイラーヒナの脂肪蓄積に及ぼす影響を検討する。

重金属であるクロムのうち、6価クロムはその毒性が強いことから古くから知られていた。しかしながら、3価のクロムについては、毒性が低く、ほとんど消化吸収されないことから、消化率、消化管内容物の滞留時間および通過速度などを測定する指示物質として利用されている。また、鶏において欠乏症に関する報告はなく、NRC(1994) 64) や日本飼養標準(1997) 69) にも微量元素としては取り上げられてはいない。3価のクロムについては、近年は乳動物において糖代謝や体脂肪蓄積に影響を及ぼす可能性が示唆され⁵⁷⁾、その形態も吸収されやすいピコリ

ン酸クロム、ニコチン酸クロムおよびクロム酵母などについて検討が行われている。家畜においては、豚を中心に研究が進められ、特にピコリン酸クロムの飼料への添加が背脂肪厚の減少に効果的であると報告されている^{10, 80)}。

そこで、本研究では、有機クロムの一つであるクロム酵母の低 CP 飼料への添加が窒素排泄および腹腔内脂肪蓄積に及ぼす影響を検討した。

材料および方法

市販の雄ブロイラーヒナ（チャンキー）を用いて 2 回の飼養試験と出納試験を行った。1 週齢までは、バタリーケージで市販の前期用飼料を給与した。試験 1 では、8 日齢時に平均体重が等しくなるように 3 羽ずつ 6 反復の 4 試験区になるように割り付けた。試験飼料は、8 から 29 日齢まで給与した。試験 2 では、6 日齢時に平均体重が等しくなるように 3 羽ずつ 5 反復の 4 試験区になるように割り付けた。試験飼料は、試験 1 および 2 ともにクロム酵母製剤（製剤 1kg 当たり 1g のクロムを含む、Alltech 社製）をクロムとして 0, 200 および 400ppb になるように添加した CP19%飼料と、CP21%の対照飼料を調製した（表 3-6）。全ての飼料の CP 以外の栄養素含量は、日本飼養標準（1997）⁶⁹⁾ の養分要求量を満たすものであった。

両試験ともに、試験飼料の代謝エネルギー（ME）は 3.1kcal/g とした。試験開始後の 14 日齢時から 18 日齢時までの 4 日間の排泄物の全量を採取し、窒素出納を測定した。試験終了時に、各区から平均体重に近い 6 羽を選び、採血を行い、腹腔内脂肪重量を測定した。血漿中の

成分は、トリグリセライド（トリグリセライド G-テストワコー）、遊離脂肪酸（NEFA C テストワコー）、グルコース（グルコーステストワコー）、総コレステロール（コレステロール E テストワコー）について測定した。飲水は自由とし、飼養環境はバタリーケージ、環境温度は 25℃、光線管理は 24 時間照明に設定した。

結果は Duncan の多重範囲検定法⁹⁰⁾により平均値間の差の検定を行った。

結 果

試験 1

増体量および飼料摂取量に、クロム酵母添加の影響は認められず、CP21%の対照飼料給与区と CP19%の低 CP 飼料給与区との間に差はみられなかった（表 3-7）。飼料効率、CP19%の低 CP 飼料給与区が CP21%の対照飼料区よりも有意に低かった（ $P<0.05$ ）。腹腔内脂肪重量は、CP19%飼料給与により有意に増加したが（ $P<0.05$ ）、クロム酵母添加の効果は認められなかった（表 3-8）。血漿中のトリグリセライド濃度は、クロム酵母を添加しない CP19%飼料給与区が CP21%の対照区よりも有意に高くなった（表 3-9, $P<0.05$ ）。NEFA 濃度は低 CP 飼料給与区が低くなる傾向がみられたが、有意差は認められなかった。グルコースおよびコレステロール濃度に給与飼料の影響は認められなかった。低 CP 飼料給与区の窒素摂取量は、CP21%の対照飼料給与区よりも少なくなる傾向がみられ、クロムを 400ppb 添加した区を除いて、有意差が認められた（表 3-10, $P<0.05$ ）。CP19%飼料を給与したヒナの窒素排泄量は、対照飼料を給与したヒナよりも有意に少なく（ $P<0.05$ ）、約 10～20%の低減が認

表 3-6 試験飼料の組成（%）

CP 含量 (%)	試験 1		試験 2	
	21	19	21	19
トウモロコシ	59.48	64.80	59.69	63.88
脱皮大豆粕 (CP51%)	34.15	28.83	29.27	23.23
ホワイトフィッシュミール	-	-	6.00	6.00
大豆油	2.80	2.50	2.80	2.80
第 2 リン酸水素カルシウム	1.66	1.71	0.78	0.84
炭酸カルシウム	1.01	1.01	0.76	0.77
塩化ナトリウム	0.42	0.42	0.33	0.33
DL-メチオニン	0.33	0.38	0.22	0.33
L-リジン塩酸塩	-	0.13	-	0.13
L-トレオニン	-	0.07	-	0.07
ビタミン・ミネラル混合物 ¹	0.15	0.15	0.15	0.15
計算値				
ME(kcal/g)	3.10	3.10	3.10	3.10
CP(%)	21.0	19.0	21.0	19.0

¹ 表 1-1.

表3-7 低 CP 飼料へのクロム酵母添加が8から29日齢の雄ブロイラーヒナの成長に及ぼす影響 (試験1)¹

飼料中 CP 含量 (%)	21	19			Pooled
クロム添加量 (ppb)	0	0	200	400	SEM
増体量 (g/21 日)	1112	1099	1089	1088	31.6
飼料摂取量 (g/21 日)	1642	1685	1682	1690	36.0
飼料効率 (%)	67.6 ^a	65.2 ^b	64.8 ^b	64.3 ^b	0.72

¹ 3 羽 6 反復の平均値.^{a,b} 異符号間に 5%水準で有意差あり.表3-8 飼料へのクロム酵母添加が29日齢の雄ブロイラーヒナの腹腔内脂肪蓄積に及ぼす影響 (試験1)¹

飼料中 CP 含量 (%)	21	19			Pooled
クロム添加量 (ppb)	0	0	200	400	SEM
腹腔内脂肪重量 (g)	13.3 ^b	17.4 ^a	16.6 ^a	16.9 ^a	0.85
(g/100g 体重)	1.04 ^b	1.36 ^a	1.31 ^a	1.34 ^a	0.057

¹ 29 日齢時. 18 羽の平均値.^{a,b} 異符号間に 5%水準で有意差あり.表3-9 低 CP 飼料へのクロム酵母添加が雄ブロイラーの血漿中成分に及ぼす影響 (試験1)¹

飼料中 CP 含量 (%)	21	19			Pooled
クロム添加量 (ppb)	0	0	200	400	SEM
トリグリセリド ^a (mg/dl)	37.0 ^b	62.0 ^a	56.9 ^{ab}	56.5 ^{ab}	6.99
NEFA ² (μEq/l)	219	183	186	202	14.2
グルコース (mg/dl)	269	259	251	261	7.1
総コレステロール (mg/dl)	99.5	103.6	93.2	105.4	5.67
HDL-コレステロール	75.0	78.5	71.8	79.6	3.89

¹ 29 日齢時. 6 羽の平均値.^{a,b} 異符号間に 5%水準で有意差あり.² 遊離脂肪酸表3-10 低 CP 飼料へのクロム酵母添加が14から18日齢の雄ブロイラーヒナの窒素出納に及ぼす影響 (試験1)¹

飼料中 CP 含量 (%)	21	19			Pooled
クロム添加量 (ppb)	0	0	200	400	SEM
窒素摂取量 (g/4 日)	9.49 ^a	8.50 ^b	8.48 ^b	9.02 ^{ab}	0.228
窒素蓄積量 (g/4 日)	6.73 ^a	6.25 ^a	6.18 ^a	6.61 ^a	0.185
窒素排泄量 (g/4 日)	2.75 ^a	2.25 ^b	2.30 ^b	2.41 ^b	0.078
窒素排泄率 (%) ²	29.1 ^a	26.6 ^b	27.1 ^{ab}	26.7 ^b	0.69

¹ 6 反復の平均値.² 窒素摂取量当たりの窒素排泄量の割合.^{a,b} 異符号間に 5%水準で有意差あり.

められた。窒素摂取量当たりの窒素排泄量の割合は、CP19%飼料給与区が CP21%の対照飼料区よりも低くなる傾向がみられ、クロムを 0 および 400ppb 添加した区で有意な低下が認められた (P<0.05)。

試験2

クロム酵母を添加した CP19%飼料給与区の増体量お

よび飼料摂取量は、CP21%の対照飼料給与区よりも有意に少なかった (表3-11, P<0.05)。飼料効率は、CP19%の低 CP 飼料給与区が CP21%の対照飼料区よりも有意に低かった (P<0.05)。腹腔内脂肪重量は、クロムを 0 および 400ppb 添加した区が CP21%の対照区よりも有意に増加した (表3-12, P<0.05)。血漿のトリグリセリドおよび NEFA 濃度は、低 CP 飼料給与により低下する傾向

がみられたが、有意差は認められなかった（表 3-13）。血漿中のグルコース濃度は低 CP 飼料給与により有意に低下したが（ $P<0.05$ ）、クロム酵母添加の影響は認められなかった。総コレステロール濃度は、低 CP 飼料給与により有意に高くなった（ $P<0.05$ ）。窒素摂取量および窒素蓄積量は、低 CP 飼料給与により有意に減少し、クロム酵母添加とともに減少した（表 3-14）。窒素排泄量

は、低 CP 飼料給与区で有意に減少した（ $P<0.05$ ）。窒素摂取量当たりの窒素排泄量の割合は、CP19%飼料給与区が CP21%の対照飼料区よりも低くなる傾向がみられ、クロムを 200ppb 添加した区で有意な低下が認められた（ $P<0.05$ ）。

表 3-11 低 CP 飼料へのクロム酵母添加が 6 から 27 日齢の雄ブロイラーヒナの成長に及ぼす影響（試験 2）¹

飼料中 CP 含量 (%)	<u>21</u>	<u>19</u>			Pooled
クロム添加量 (ppb)	0	0	200	400	SEM
増体量 (g/21 日)	1172 ^a	1094 ^{ab}	1021 ^b	1036 ^b	29.3
飼料摂取量 (g/21 日)	1584 ^a	1555 ^{ab}	1468 ^b	1466 ^b	33.3
飼料効率 (%)	74.0 ^a	70.3 ^b	69.5 ^b	70.7 ^b	0.62

¹ 3 羽 5 反復の平均値。

^{a,b} 異符号間に 5%水準で有意差あり。

表 3-12 飼料へのクロム酵母添加が 27 日齢の雄ブロイラーヒナの腹腔内脂肪蓄積に及ぼす影響（試験 2）¹

飼料中 CP 含量 (%)	21	19			Pooled
クロム添加量 (ppb)	0	0	200	400	SEM
腹腔内脂肪重量 (g)	15.6 ^a	17.7 ^a	15.9 ^a	16.9 ^a	0.98
(g/100g 体重)	1.20 ^b	1.44 ^a	1.38 ^{ab}	1.45 ^a	0.075

¹ 27 日齢時、15 羽の平均値。

^{a,b} 異符号間に 5%水準で有意差あり。

表 3-13 低 CP 飼料へのクロム酵母添加が雄ブロイラーの血漿中成分に及ぼす影響（試験 2）¹

飼料中 CP 含量 (%)	<u>21</u>	<u>19</u>			Pooled
クロム添加量 (ppb)	0	0	200	400	SEM
トリグリセリド ¹ (mg/dl)	45.3	34.8	37.5	37.4	6.42
NEFA ² (μ Eq/l)	341	276	327	309	23.1
グルコース (mg/dl)	206 ^a	192 ^b	182 ^b	187 ^b	3.8
総コレステロール (mg/dl)	108 ^b	129 ^a	127 ^a	127 ^a	5.9

¹ 27 日齢時、6 羽の平均値。

^{a,b} 異符号間に 5%水準で有意差あり。

² 遊離脂肪酸

表 3-14 低 CP 飼料へのクロム酵母添加が 14 から 18 日齢の雄ブロイラーヒナの窒素出納に及ぼす影響（試験 2）¹

飼料中 CP 含量 (%)	21	19			Pooled
クロム添加量 (ppb)	0	0	200	400	SEM
窒素摂取量 (g/4 日)	9.66 ^a	8.56 ^b	8.08 ^{bc}	7.86 ^c	0.221
窒素蓄積量 (g/4 日)	7.07 ^a	6.38 ^b	6.11 ^{bc}	5.79 ^c	0.154
窒素排泄量 (g/4 日)	2.58 ^a	2.18 ^b	1.97 ^b	2.07 ^b	0.095
窒素排泄率 (%) ²	26.7 ^a	25.4 ^{ab}	24.4 ^b	26.3 ^{ab}	0.67

¹ 5 反復の平均値。

² 窒素摂取量当たりの窒素排泄量の割合。

^{a,b} 異符号間に 5%水準で有意差あり。

考 察

前節の結果同様、CP19%飼料の給与は窒素排泄量を有意に低減した。窒素蓄積量は各区ほぼ同等であることから、この現象は窒素摂取量の減少によるものと考えられる。窒素摂取に占める窒素排泄の割合も、CP19%飼料給与区で有意に低下している。これらのことから、CP19%飼料の給与により CP21%の対照飼料給与時よりも窒素排泄量を低減できることを確認できた。しかしながら、クロム酵母添加による飼料摂取量の減少が認められた。クロム添加による飼料摂取量減少は、豚については Boleman ら¹⁰⁾、ニワトリについては Motozono ら⁶⁰⁾によっても報告されている。本試験でもクロム酵母の添加量は0.04%とごくわずかであるが、酵母に含まれる何らかの未知成分が飼料摂取量を減少させ、増体量の低下をもたらしたのかもしれない。

腹腔内脂肪の蓄積は、両試験において CP19%飼料給与による有意な増加が確認できた。両試験とも、飼料のエネルギー水準はほぼ一定であることから、体脂肪蓄積の増加は飼料のカロリー・タンパク質比の上昇によるものと考えられる。本試験は、低 CP 飼料給与時のような体脂肪の蓄積が亢進する条件時におけるクロムの体脂肪抑制を期待して行ったが、そのような効果は認められなかった。既往の報告では、クロム添加が豚の体脂肪蓄積を抑制するとの報告^{10, 80)}と、効果がない^{49, 58)}との報告がある。これらの結果の違いの原因は明らかではないが、考えられる要因として、供試した動物が給与されていた飼料のクロム含量や動物の飼養状態などをあげることができる。すなわち、ストレス負荷時など、クロムの排泄量が多く不足または欠乏状態の場合、添加した有機クロムの効果が明らかになりやすいと考えられる。本試験の飼養形態は、一般的なバタリー飼育で、温度も適正であった。クロム添加の効果を検討する時は、鶏の飼養状態やクロム排泄量の測定を含めた検討により、的確に効果を明らかにできる可能性が考えられる。血漿中成分については、低 CP 飼料給与により試験1でトリグリセライド濃度の上昇、試験2でグルコース濃度の低下および総コレステロール濃度の上昇が認められたが、クロム酵母添加の影響は認められなかった。肥育豚において、有機クロムの一つであるピコリン酸クロムの添加が血漿中トリグリセライド、コレステロール、成長ホルモンおよびインスリン濃度に及ぼす影響が検討されているが、いずれの濃度にも差は認められなかった⁸⁰⁾。Lien ら⁵²⁾は、ブロイラーに 1,600~3,200 $\mu\text{g/kg}$ と比較的高濃度のピコリン酸クロムを添加した飼料を給与したところ、血漿

中のグルコースおよびインスリン濃度の有意な低下を認めている。同時にこれらの試験でクロム添加による有意な増体量の改善を観察している。クロムは細胞のインスリンレセプターの数を増加させ、その結合を高めることにより、インスリンの働きを促進すると考えられている^{59, 105)}。これまでの豚における有機クロムの体脂肪蓄積抑制に関する報告およびブロイラーでは比較的高濃度で血漿中濃度に影響が見られたことなどを総合すると、鳥類はほ乳類よりもクロムに対する内分泌等の反応が小さいと想定された。本試験では、ブロイラーの脂肪蓄積に対する明らかな効果は認められなかったが、高濃度添加時の体脂肪蓄積に及ぼす影響についての検討も必要である。また、クロムについては牛においてストレス時の免疫応答改善^{14, 19)}などの機能性も明らかになっており、鶏における効果についても明らかにする必要があると考えられる。

第3節 低タンパク質飼料への共役リノール酸の添加がブロイラーヒナにおける窒素排泄量および脂肪蓄積量に及ぼす影響

要 約

CP19%の低 CP 飼料に、共役リノール酸を試験1では0, 0.5および1%, 試験2では0, 1および2%配合した飼料、CP21%の対照飼料を1週齢から3週間給与し、飼養成績、腹腔内脂肪蓄積および窒素出納に及ぼす影響を検討した。

その結果、増体量はCP19%飼料給与区とCP21%の対照飼料給与区との間に差は認められなかった。飼料効率は、試験1、試験2ともに共役リノール酸添加により低下する傾向が認められた。腹腔内脂肪重量は、試験1では共役リノール酸添加区が対照飼料区よりも有意に多かったが、試験2では共役リノール酸添加の影響は認められなかった。肝臓重量は、いずれの試験においても共役リノール酸添加により有意に増加した。血漿中の遊離脂肪酸および総コレステロール濃度に共役リノール酸添加の影響が認められたが、2つの試験に共通した傾向は認められなかった。窒素排泄量は、CP19%飼料の給与により減少したが、共役リノール酸添加区とCP21%の対照区との間に有意差は認められなかった。

以上の結果から、共役リノール酸の飼料への添加は、ブロイラーヒナの脂質代謝に影響を及ぼす可能性が示唆されるものの、体脂肪蓄積に有効な添加水準は2%よりも高い可能性が示された。

緒 言

前節に引き続き、低 CP 飼料給与時の脂肪蓄積の増加を抑制する飼料添加物として、共役リノール酸 (CLA) を取り上げ、その添加がブロイラーヒナの脂肪蓄積量に及ぼす影響を検討する。

リノール酸は、カルボキシル基側から数えて 9 および 12 番目にシス型の二重結合を持つが、CLA は 8 および 10, 9 および 11, 10 および 12, 11 および 13 番目にシスおよびトランス型の二重結合を持つ。すなわち、CLA はリノール酸の幾何および位置異性体の総称である。CLA は、自然界では主に反芻動物のルーメン内の嫌気性細菌によりリノール酸から生成されることから、反芻動物の肉および乳の脂質中に多く含まれる。CLA の存在は、古くから知られていたが、その作用などについては明らかにされていなかった。約 15 年ほど前に、ウィスコンシン大の Pariza 博士らのグループによって CLA の発癌抑制作用が発見されて以来³⁹⁾、彼らのグループを中心にその生理機能について研究が行われてきた。近年、マウスにおいて CLA が体脂肪蓄積を強力に抑制すること⁸¹⁾が報告されて以来、ヒトにおいても体脂肪蓄積の抑制が確認された⁹⁾。畜産の分野においても、豚への CLA 給与により、飼料効率の改善、赤肉の増加および体脂肪蓄積の減少が報告されており^{27, 78)}、低脂肪肉生産の可能性が示されている。

そこで、本研究では、共役リノール酸の低 CP 飼料への添加が窒素排泄および腹腔内脂肪蓄積量に及ぼす影響を検討した。

材料および方法

市販の雄ブロイラーヒナ (チャンキー) を用いて 2 回の飼養試験と出納試験を行った。1 週齢までは、バタリーケージで市販の前期用飼料を給与した。試験 1 では、7 日齢時に平均体重が等しくなるように 3 羽ずつ 5 反復の 4 試験区になるように割り付けた。試験飼料は、7 から 28 日齢まで給与した。試験 2 では、8 日齢時に平均体重が等しくなるように 2 羽ずつ 5 反復の 4 試験区になるように割り付け、試験飼料を 8 から 29 日齢まで給与した。試験飼料は、試験 1 では共役リノール酸を 0, 0.5 および 1.0%, 試験 2 では 0, 1.0 および 2.0% を飼料中の大豆油と置き換えて添加した CP19% 飼料と、CP21% の対照飼料を調製した (表 3-15)。全ての飼料の CP 以外の栄養素含量は、日本飼養標準 (1997)⁶⁹⁾ の養分要求量を満たすものであった。

両試験ともに、試験飼料の代謝エネルギー (ME) は 3.1 kcal/g とした。試験開始後の 14 日齢時から 18 日齢時までの 4 日間の排泄物の一部を採取し、酸化クロムによる指示物質法 (武政, 1992) により窒素出納を測定した。試験終了時に、各区から平均体重に近い 6 羽 (試験 1)

表 3-15 試験飼料の組成 (%)

CP 含量 (%)	試験 1		試験 2	
	21	19	21	19
トウモロコシ	63.52	65.77	62.04	66.31
脱皮大豆粕 (CP51%)	28.14	26.83	28.55	26.87
コーングルテンミール	-	-	3.38	-
ホイトフィッシュミール	3.20	-	0.29	0.74
大豆油	2.00	1.97	2.00	2.00
コーンスターチ	-	1.00	-	-
第 2 リン酸水素カルシウム	1.19	1.73	1.66	1.61
炭酸カルシウム	0.89	1.02	1.01	0.99
塩化ナトリウム	0.37	0.42	0.42	0.41
DL-メチオニン	0.35	0.45	0.29	0.43
L-リジン塩酸塩	0.06	0.25	0.11	0.22
L-トレオニン	0.03	0.14	-	0.12
L-アルギニン	-	0.09	-	0.04
L-バリン	-	0.04	-	0.01
L-イソロイシン	-	0.03	-	-
L-トリプトファン	-	0.01	-	-
ビタミン・ミネラル混合物 ¹⁾	0.15	0.15	0.15	0.15
酸化クロム	0.10	0.10	0.10	0.10
計算値				
ME(kcal/g)	3.10	3.10	3.10	3.10
CP(%)	21.0	19.0	21.0	19.0

¹⁾ 表 1-1.

および5羽(試験2)を選び、採血を行い、腹腔内脂肪、肝臓、胸肉およびもも肉重量を測定した。血漿中の成分は、トリグリセライド(トリグリセライド G-テストワコー)、遊離脂肪酸(NEFA C テストワコー)、グルコース(グルコーステストワコー)、総コレステロール(コレステロールE テストワコー)について測定した。飲水は自由とし、飼養環境はバッテリーケージ、環境温度は25℃、光線管理は24時間照明に設定した。

結果はDuncanの多重範囲検定法⁹⁰⁾により平均値間の差の検定を行った。

結 果

試験1

飼養成績を表3-16に示した。増体量に共役リノール酸(CLA)添加の影響は認められなかったが、飼料摂取

量はCLAの添加により有意に増加した($P<0.05$)。飼料効率はCP19%飼料給与区がCP21%の対照飼料給与区よりも有意に低下した($P<0.05$)。腹腔内脂肪重量は、CLA添加区がCP21%の対照飼料区よりも有意に重かった(表3-17, $P<0.05$)。試験終了時の肝臓重量は、CLA1.0%添加区が有意に重かった(表3-18, $P<0.05$)。胸肉およびもも肉重量に給与飼料の影響は認められなかった。血漿中のNEFA含量は、CLA添加により有意に増加したが($P<0.05$)、トリグリセライド、グルコースおよび総コレステロール含量に給与飼料の影響は認められなかった(表3-19)。CP19%飼料を給与したヒナの窒素蓄積量は、対照飼料を給与したヒナよりも少ない傾向が認められた(表3-20)。窒素排泄量は、CLA添加により増加する傾向がみられ、CLA1.0%添加区と他区との間に有意差が認められた($P<0.05$)。

表3-16 低CP飼料への共役リノール酸添加が7から28日齢の雄ブロイラーヒナの成長に及ぼす影響(試験1)¹⁾

飼料中 CP 含量 (%)	21	19			Pooled
共役リノール酸添加量 (%)	0	0	0.5	1.0	SEM
増体量 (g/21 日)	1160	1092	1153	1170	26.5
飼料摂取量 (g/21 日)	1664 ^b	1674 ^b	1752 ^{ab}	1830 ^a	34.4
飼料効率 (%)	69.7 ^a	65.2 ^{bc}	65.8 ^b	63.9 ^c	0.56

¹⁾ 3羽5反復の平均値。

^{a,b} 異符号間に5%水準で有意差あり。

表3-17 飼料への共役リノール酸の添加が28日齢の雄ブロイラーヒナの腹腔内脂肪蓄積に及ぼす影響(試験1)¹⁾

飼料中 CP 含量 (%)	<u>21</u>	<u>19</u>			Pooled
共役リノール酸添加量 (%)	0	0	0.5	1.0	SEM
腹腔内脂肪重量 (g)	18.1 ^b	19.1 ^{ab}	21.4 ^{ab}	22.7 ^a	1.32
(g/100g 体重)	1.38 ^b	1.53 ^{ab}	1.63 ^a	1.70 ^a	0.081

¹⁾ 28日齢時、15羽の平均値。

^{a,b} 異符号間に5%水準で有意差あり。

表3-18 低CP飼料への共役リノール酸の添加が雄ブロイラーの肝臓、胸肉、もも肉重量および肝臓脂質含量に及ぼす影響(試験1)¹⁾

飼料中 CP 含量 (%)	21	19			Pooled
共役リノール酸添加量 (%)	0	0	0.5	1.0	SEM
肝臓重量 (g)	27.2 ^b	26.5 ^b	30.4 ^b	37.2 ^a	1.71
(g/100g 体重)	2.06 ^b	2.14 ^b	2.30 ^b	2.80 ^a	0.134
胸肉重量 (g)	67.0	68.0	70.6	72.9	3.60
(g/100g 体重)	5.08	5.49	5.36	5.46	0.241
もも肉重量 (g)	118	111	120	121	3.61
(g/100g 体重)	8.91	8.92	9.10	9.08	0.217

¹⁾ 28日齢時、6羽の平均値。

^{a,b} 異符号間に5%水準で有意差あり。

試験 2

増体量および飼料摂取量に CLA 添加の影響は認められなかったが、飼料効率は CLA2.0%区で有意に低下した (表 3-21, $P<0.05$)。腹腔内脂肪重量に CLA 添加の影響は認められなかった (表 3-22)。肝臓重量は、CLA 添加により増加する傾向がみられ、2.0%添加区と他区と

の間に有意差が認められた (表 3-23, $P<0.05$)。胸肉重量は、CLA を 1%添加した区が無添加区よりも有意に増加したが ($P<0.05$)、もも肉重量に給与飼料の影響は認められなかった。血漿中トリグリセライド濃度は、CLA1.0%添加区と 2.0%添加区との間に有意差が認められたが (表 3-24, $P<0.05$)、CLA 添加による一定の

表 3-19 低 CP 飼料への共役リノール酸の添加が雄ブロイラーの血漿中成分に及ぼす影響 (試験 1)¹

飼料中 CP 含量 (%)	21	19			Pooled
共役リノール酸添加量 (%)	0	0	0.5	1.0	SEM
トリグリセリド ² (mg/dl)	62.5	61.5	70.3	74.6	5.7
NEFA ² (μEq/l)	296 ^b	346 ^b	362 ^{ab}	451 ^a	33.7
グルコース (mg/dl)	255	257	257	259	5.9
総コレステロール (mg/dl)	104	108	118	112	6.9

¹ 28 日齢時、6 羽の平均値。

^{a,b} 異符号間に 5%水準で有意差あり。

² 遊離脂肪酸

表 3-20 低 CP 飼料への共役リノール酸の添加が 14 から 18 日齢の雄ブロイラーヒナの窒素出納に及ぼす影響 (試験 1)¹

飼料中 CP 含量 (%)	21	19			Pooled
共役リノール酸添加量 (%)	0	0	0.5	1.0	SEM
窒素摂取量 (g/4 日)	9.23 ^a	8.31 ^b	8.66 ^{ab}	9.14 ^a	0.222
窒素蓄積量 (g/4 日)	7.01 ^a	6.15 ^b	6.37 ^b	6.43 ^{ab}	0.195
窒素排泄量 (g/4 日)	2.21 ^b	2.16 ^b	2.29 ^b	2.71 ^a	0.117
窒素排泄率 (%) ²	24.1 ^b	26.0 ^{ab}	26.5 ^{ab}	29.6 ^a	1.170

¹ 5 反復の平均値。

² 窒素摂取量当たりの窒素排泄量の割合。

^{a,b} 異符号間に 5%水準で有意差あり。

表 3-21 低 CP 飼料への共役リノール酸添加が 8 から 29 日齢の雄ブロイラーヒナの成長に及ぼす影響 (試験 2)¹

飼料中 CP 含量 (%)	21	19			Pooled
共役リノール酸添加量 (%)	0	0	1.0	2.0	SEM
増体量 (g/21 日)	1172	1147	1139	1109	37.2
飼料摂取量 (g/21 日)	1834	1804	1797	1831	48.2
飼料効率 (%)	63.9 ^a	63.5 ^a	63.3 ^{ab}	60.5 ^b	0.96

¹ 2 羽 5 反復の平均値。

^{a,b} 異符号間に 5%水準で有意差あり。

表 3-22 飼料への共役リノール酸の添加が 29 日齢の雄ブロイラーヒナの腹腔内脂肪蓄積に及ぼす影響 (試験 2)¹

飼料中 CP 含量 (%)	<u>21</u>	<u>19</u>			
共役リノール酸添加量 (%)	0	0	1.0	2.0	SE
腹腔内脂肪重量 (g)	15.0	15.6	17.7	14.6	0.61
(g/100g 体重)	1.10	1.16	1.34	1.11	0.042

¹ 29 日齢時、10 羽の平均値 (CLA2.0%区は 9 羽の平均値)。

表 3-23 低 CP 飼料への共役リノール酸の添加が雄ブロイラーの
肝臓、胸肉およびもも肉重量に及ぼす影響 (試験 2)¹

飼料中 CP 含量 (%)	21	19		Pooled	
共役リノール酸添加量 (%)	0	0	1.0	2.0	SEM
肝臓重量 (g)	25.1 ^b	27.1 ^b	29.0 ^b	36.8 ^a	1.76
(g/100g 体重)	1.86 ^b	2.02 ^b	2.18 ^b	2.76 ^a	0.118
胸肉重量 (g)	72.7	73.9	82.6	79.6	3.14
(g/100g 体重)	5.40 ^b	5.50 ^b	6.24 ^a	6.00 ^{ab}	0.218
もも肉重量 (g)	121	123	126	127	3.61
(g/100g 体重)	9.02	9.20	9.46	9.54	0.191

¹ 29 日齢時, 5 羽の平均値.^{a,b} 異符号間に 5%水準で有意差あり.表 3-24 低 CP 飼料への共役リノール酸の添加が雄ブロイラーの
血漿中成分に及ぼす影響 (試験 2)¹

飼料中 CP 含量 (%)	21	19		SE	
共役リノール酸添加量 (%)	0	0	1.0	2.0	
トリグリセリド ² (mg/dl)	59.2 ^{ab}	68.1 ^{ab}	47.8 ^b	71.0 ^a	3.54
NEFA ² (μ Eq/l)	472	443	392	475	16.1
グルコース (mg/dl)	270 ^a	262 ^{ab}	249 ^b	250 ^{ab}	3.2
総コレステロール (mg/dl)	114 ^b	111 ^b	132 ^a	137 ^a	1.6
HDL-コレステロール (mg/dl)	71.9 ^b	67.5 ^b	83.6 ^a	85.1 ^a	1.31

¹ 29 日齢時, 5 羽の平均値 (CLA1.0%区は 4 羽の平均値).^{a,b} 異符号間に 5%水準で有意差あり.² 遊離脂肪酸表 3-25 低 CP 飼料への共役リノール酸の添加が 14 から 18 日齢の
雄ブロイラーヒナの窒素出納に及ぼす影響 (試験 2)¹

飼料中 CP 含量 (%)	21	19		Pooled	
共役リノール酸添加量 (%)	0	0	1.0	2.0	SEM
窒素摂取量 (g/4 日)	10.75 ^a	9.64 ^a	9.68 ^a	9.77 ^a	0.283
窒素蓄積量 (g/4 日)	7.22 ^a	6.97 ^a	6.74 ^a	6.58 ^a	0.186
窒素排泄量 (g/4 日)	3.52 ^a	2.67 ^c	2.94 ^{bc}	3.19 ^{ab}	0.117
窒素排泄率 (%) ²	32.8 ^a	27.6 ^c	30.3 ^b	32.6 ^{ab}	0.598

¹ 5 反復の平均値.² 窒素摂取量当たりの窒素排泄量の割合.^{a,b} 異符号間に 5%水準で有意差あり.

傾向はみられなかった。グルコース濃度は, CP19%区で低くなる傾向がみられ, CLA1.0%添加区と対照飼料区との間に有意差が認められた ($P<0.05$)。総および HDL コレステロール濃度は CLA 添加により有意に上昇した ($P<0.05$)。窒素摂取量および窒素蓄積量は, 各区間に差は認められなかった (表 3-25)。窒素排泄量は, 低 CP 飼料給与区のうち, CLA を 0 および 1.0%添加した区で対照飼料区よりも有意に減少したが ($P<0.05$), CLA 添加とともに増加する傾向も認められた。窒素摂取量あたりの窒素排泄量の割合は, 低 CP 飼料給与により低下したが, CLA 添加とともに上昇する傾向が認められた ($P<0.05$)。

考 察

両試験とも, CP19%飼料給与による増体量の低下は認められず, アミノ酸を添加した低 CP 飼料の給与により CP21%飼料給与時と同等の成長を示すことが確認された。また, 飼料への共役リノール酸 (CLA) 添加が増体量に及ぼす影響は認められなかった。一方, 飼料摂取量は, 試験 1 において CLA 添加により増加する傾向が認められ, 0%添加区と 1%添加区との間に有意な差が認められた。しかしながら, 試験 2 ではそのような増加は認められず, 既往の豚への給与試験^{27, 78)}やマウスへの給与試験⁸¹⁾においてもそのような現象は認められていない。本試験で観察された飼料摂取量増加の要因は不明である。試験 1 および 2 の双方で, CLA 添加により飼料効率が低下する傾向が認められた。Belury and Kempa-Steczko⁶⁾は,

マウスへ CLA を 0～1.5% 添加した飼料を給与したところ、濃度依存的に飼料効率が低下することを報告しているが、その原因についての検討は行っていない。逆に、Ostrowska ら⁷⁸⁾ は、肥育豚への CLA 添加試験の中で、CLA (0.125～1.0%) 添加による飼料効率の上昇を認めており、Dugan ら²⁷⁾ の報告の中でも有意ではないものの飼料要求率が改善する傾向にあることを報告している。

腹腔内脂肪重量の抑制は、両試験において 1%CLA 添加では認められず、逆に増加する傾向が見られたが、2%添加では減少する傾向がみられた。これまで報告されているマウスおよび豚における CLA 給与試験では、0.5～1.0%程度の添加で体脂肪率または背脂肪厚の低下および減少が認められていることから^{78, 81)}、鶏と他の動物では体脂肪蓄積抑制に有効な CLA 濃度が異なる可能性が示された。また、本試験では CLA2%添加区で腹腔内脂肪重量が減少する傾向が見られたが、有意な差は認められなかった。一方、前述のマウスの試験⁸¹⁾ では、飼料中への 0.5%添加で屠体重量に影響を及ぼすことなく体脂肪を半減、肥育豚を用いた試験では 1%の添加で背脂肪厚が 20%減少するなど、鶏以外の動物ではその効果が明確に現れている。これら種間における結果の差異の原因については今後の検討が必要である。

両試験において、肝臓重量は CLA の添加濃度依存的に増加が認められた。CLA 給与に伴う肝臓重量の増加については、West ら¹⁰⁷⁾ により報告されている。それによると、マウスに CLA を 1.0%添加した飼料を 6 週間給与したところ、肝臓重量が有意に増加したものの、脂肪組織重量の有意な減少を観察している。また、Belury and Kempa-Steczko⁶⁾ はマウスへの CLA 給与による肝臓脂質の増加を報告しており、その後の研究の中で、CLA は脂質代謝を制御する肝臓のペルオキシソーム増殖剤応答性受容体 (PPARs) の発現を高めることを明らかにし、CLA が脂質代謝に影響する可能性を示している⁶¹⁾。

Dugan ら²⁷⁾ および Ostrowska ら⁷⁸⁾ は、肥育豚において CLA を配合した飼料の給与により、ロース部位または屠体の赤肉量が有意に増加することを示している。本試験においても、双方の試験で胸肉量が増加する傾向が見られ、試験 2 では CLA 添加区で有意差が認められた。Ostrowska ら⁷⁸⁾ は、CLA 添加による増加した赤肉量のうち水分含量の増加が大きいことを明らかにしており、CLA 添加による体脂肪減少分が水分によって置き換わることを示した。同様の結果はマウスにおいても観察されており⁸¹⁾、本試験で認められた胸肉重量の増加は水分含量が増えたことによる可能性が考えられる。しかしな

がら、モモ肉についてはいずれの試験でもその増加は認められず、部位による反応の違いの原因については今後の検討が必要と考えられる。

血漿中の成分のうち、試験 1 では遊離脂肪酸、試験 2 ではコレステロールおよびトリグリセライド濃度に CLA 添加の影響が認められた。しかしながら、Yamasaki ら¹⁰⁹⁾ は、ラットへの CLA 給与により血漿中トリグリセライドおよび遊離脂肪酸濃度が低下すること、de Deckere ら²⁴⁾ は、ハムスターへの CLA 給与により血漿中コレステロール含量が低下することと、本試験とは逆の結果を報告している。ブロイラーへの CLA 給与でも同様に血漿中トリグリセライド濃度の低下が報告されていることから⁹⁴⁾、これらの結果の違いが、供試動物の違いによるものとは考えにくい。これまでの実験動物および豚における試験成績、そして採卵鶏でも CLA 給与により卵黄中の脂肪酸組成が大きく変化することなどから¹⁸⁾、CLA の給与が脂質代謝に何らかの影響を及ぼしていることは明らかである。しかしながら、CLA の肉用鶏における体脂肪蓄積抑制効果は、マウスなどの実験動物への影響と比較すると小さいものの、本試験で行った低 CP 飼料給与のような体脂肪蓄積が高まるような条件においてもその効果を発揮する傾向が認められた。肉用鶏への給与については、有効な添加水準の設定など更なる検討は必要であるが、反すう動物由来の乳や肉に含まれ、長期の投与試験でも安全であることが確認されている CLA は⁹³⁾、低 CP 飼料給与による体脂肪蓄積を抑える添加物として実用面でも有効であると考えられる。また、CLA は先に述べた体脂肪の蓄積抑制および赤肉割合の上昇の他に、抗がんおよび抗動脈硬化などの生理作用を示すことから、鶏肉中への CLA の移行は鶏肉の付加価値を高めると考えられる。

第 4 節 低タンパク質飼料への酵素添加がブロイラーの窒素排泄量および脂肪蓄積量に及ぼす影響

要 約

低 CP 飼料へのセルラーゼ添加が、ブロイラーヒナの成長、窒素排泄量および腹腔内脂肪の蓄積に及ぼす影響を検討するために 2 つの試験を行った。

試験 1 では、7 日齢の雄ブロイラーに CP21%の対照飼料、CP19%の低 CP 飼料、低 CP 飼料にセルラーゼを 0.03%添加した飼料を 2 週間、試験 2 では、CP17%の対照飼料、CP15%の低 CP 飼料、低 CP 飼料にセルラーゼを 0.03%添加した飼料を 3 週間給与し、飼養成績、腹腔

内脂肪蓄積，窒素出納，回腸におけるアミノ酸消化率，肝臓の脂質代謝関連酵素活性を測定した。

試験1の結果，飼養成績はCP19%飼料給与区とCP21%の対照飼料給与区との間に差は認められなかった。腹腔内脂肪重量にCPおよびセルロース添加の影響は認められなかった。窒素排泄量は，低CP飼料給与により有意に減少したが，酵素の影響はみられなかった。飼料のエネルギー価に酵素添加の影響は認められなかったが，回腸アミノ酸消化率は，酵素添加により上昇する傾向が見られた。肝臓の脂肪合成および分解関連の酵素活性は，CP水準および酵素添加の影響は認められなかった。試験2の結果，飼養成績に飼料のCP水準および酵素添加の影響はみられなかった。腹腔内脂肪重量は，試験区間に有意差は認められなかったが，酵素添加により減少する傾向が見られた。窒素排泄量は，低CP飼料給与により有意に減少し，酵素添加により更なる低減の傾向が見られた。飼料のエネルギー価および回腸アミノ酸消化率は，酵素添加により改善する傾向が見られたが，有意な差は認められなかった。肝臓の脂質合成および分解関連酵素活性に，CP水準および酵素添加の影響はみられなかった。

以上の結果から，低CP飼料へのセルロース添加は，回腸アミノ酸消化率を改善し，体脂肪蓄積を減少させる可能性があることが示された。

緒言

近年の畜産環境問題への関心の高まりから，様々な方策により排泄物中の窒素およびリン含量の低減，排泄物量そのものの低減を目的とした飼料添加用の酵素剤の使用が試みられてきた。これまでのところ，リンについては飼料へのフィターゼ添加により排泄量を大幅に低減できること⁸⁷⁾，排泄物量については武政ら¹⁰¹⁾が飼料への繊維分解系の酵素添加により産卵鶏からの乾物排泄量を低減できることを示している。また，Zanellaら¹¹³⁾は，低CP飼料へのアミラーゼ，プロテアーゼおよびキシナーゼ添加により，飼養成績が改善することを報告しており，飼料への酵素添加が様々な有益な結果をもたらす可能性が示されている。これまで，第1章第1節で，飼料のアミノ酸バランスを整えつつ，CP水準を低下させることにより鶏からの窒素排泄量を低減できることを述べてきたが，低CP飼料に飼料添加用酵素を加えることにより更なる窒素排泄量を低減できる可能性が考えられる。また，Yonemochiら¹¹²⁾は，トウモロコシ・大豆粕主体飼料への繊維分解酵素添加により，腹腔内脂肪重量

が減少することを報告しており，低CP飼料給与による腹腔内脂肪重量の増加を抑制できる可能性がある。

そこで本試験では，低CP飼料への繊維分解酵素添加が窒素排泄量におよぼす影響を検討するとともに，ブロイラーの脂質代謝の主要臓器である肝臓における脂質合成および分解関連酵素活性を測定した。

材料および方法

市販の雄ブロイラーヒナ（チャンキー）を用いて2回の飼養試験と出納試験を行った。試験1では，7日齢までバッテリーケージで市販の前期用飼料を給与したヒナを，平均体重が等しくなるように2羽ずつ5反復の3試験区に割り付けた。試験飼料は，CP21%の対照飼料，CP19%の低CP飼料，低CP飼料にセルラーゼ製剤（1,000unit/gのセルラーゼを含む。明治製菓株式会社，東京）を0.03%添加した飼料を調製し（表3-26），7から21日齢まで給与した。試験2では，21日齢まで市販の前期用飼料を給与したヒナを，平均体重が等しくなるように1羽ずつ8反復の3試験区に割り付けた。試験飼料は，CP17%の対照飼料，CP15%の低CP飼料，低CP飼料にセルラーゼを0.03%添加した飼料を調製し，21から42日齢まで給与した。全ての飼料のCP以外の栄養素含量は，日本飼養標準（1997）⁶⁹⁾の養分要求量を満たすものであった。飲水は自由とし，環境温度は25℃，光線管理は24時間照明に設定した。試験1では14から18日齢まで，試験2では35から39日齢までの4日間，排泄物を採取し，温風乾燥後，総エネルギー，酸化クロムおよび窒素含量を測定した。試験終了時に腹腔内脂肪重量を測定し，回腸後半部（メッケル憩室から盲腸開口部まで）の内容物および肝臓を採取した。回腸後半部の内容物は，凍結乾燥後，6N-塩酸で110℃，24時間加水分解し，アミノ酸分析計（日立L-8500A）でアミノ酸含量を測定し，見かけの回腸消化率を算出した。

肝臓の脂質代謝関連酵素活性測定用の粗酵素液の調製法および酵素活性測定法は，第3章第1節と同様に行った。

結果

試験1

飼養成績を表3-27に示した。増体量，飼料摂取量および飼料効率に低CP飼料給与の影響は認められなかった。酵素添加により，増体量および飼料効率が高くなる傾向が認められた。腹腔内脂肪重量は，低CP飼料給与により増加し，酵素添加により減少する傾向が見られた

表 3-26 試験飼料の組成 (%)

CP 含量 (%)	試験 1		試験 2	
	21	19	17	15
トウモロコシ	66.25	70.51	76.75	80.98
大豆粕	17.82	16.49	12.22	10.99
コーングルテンミール	10.67	7.20	6.82	3.18
植物油	0.80	0.80	-	-
第 2 リン酸水素カルシウム	1.73	1.76	1.54	1.57
炭酸カルシウム	1.10	1.09	0.99	0.98
DL-メチオニン	0.23	0.33	0.17	0.27
L-リジン塩酸塩	0.48	0.57	0.47	0.56
L-アルギニン	0.17	0.27	0.25	0.35
L-トレオニン	0.07	0.15	0.15	0.23
L-トリプトファン	0.01	0.03	-	0.02
L-イソロイシン	-	0.07	0.05	0.16
L-バリン	-	0.06	0.05	0.17
NaCl	0.42	0.42	0.29	0.29
ビタミン・ミネラル混合物 ¹	0.15	0.15	0.15	0.15
酸化クロム	0.10	0.10	0.10	0.10
Calculated analysis				
ME (kcal/g)	3.10	3.10	3.10	3.10
CP (%)	21.0	19.0	17.0	15.0
Ca (%)	0.90	0.90	0.80	0.80
非フィチン態リン(%)	0.45	0.45	0.40	0.40
含硫アミノ酸	0.90	0.90	0.70	0.70
リジン(%)	1.16	1.16	0.97	0.97
トレオニン	0.77	0.77	0.70	0.70
トリプトファン	0.22	0.22	0.17	0.17

¹ 表 1-1.

が各区間に有意差は認められなかった (表 3-28)。窒素排泄量は低 CP 飼料給与により有意に減少したが ($P<0.05$)、酵素添加の影響は認められなかった (表 3-29)。窒素排泄率 (窒素摂取量あたりの窒素排泄量の割合) は、低 CP 飼料の給与により有意に低下した ($P<0.05$)。飼料の AMEn 含量に酵素添加の影響はみられなかったが、見かけの回腸アミノ酸消化率は酵素添加により上昇し、セリン、グルタミン酸、グリシン、アラニン、ロイシン、チロシン、ヒスチジンおよびプロリンでは有意差が認められた (表 3-30, $P<0.05$)。肝臓の脂肪酸合成系の酵素活性のうち、Fatty acid synthase (FAS) は低 CP 飼料給与により低下し、酵素添加により更に低下する傾向がみられたが、各区間に有意差は認められなかった (表 3-31)。もう一つの脂肪酸合成系酵素である Malic enzyme (ME) 活性は、酵素添加区で高くなる傾向が見られたが、各区間に有意差は認められなかった。脂肪酸分解系の酵素である Carnitine palmitoyltransferase (CPT) 活性に給与飼料の影響は認められなかった。

試験 2

増体量、飼料摂取量および飼料効率は、各区の間に有意差は認められなかったが、酵素添加区の増体量および飼料摂取量が他区よりも高くなる傾向がみられた (表 3-32)。腹腔内脂肪重量は、低 CP 飼料給与により増加する傾向がみられたが、低 CP 飼料への酵素添加により蓄積量が減少する傾向がみられた (表 3-33)。窒素排泄量は、低 CP 飼料給与により有意に減少し ($P<0.05$)、その低減割合は酵素を添加しない区で 24%、酵素を添加した区では 28% の窒素排泄量を低減することができた (表 3-34)。窒素排泄率は低 CP 飼料給与により低下する傾向が認められた。飼料の AMEn 含量に酵素添加の効果は認められなかった (表 3-35)。見かけの回腸アミノ酸消化率は、すべてのアミノ酸において酵素添加により高くなる傾向が認められたが、両区間の間に有意差はみられなかった。肝臓の FAS 活性は、酵素添加により低下する傾向がみられたが、有意差は認められなかった (表 3-36)。ME および CPT 活性は各区間に有意差は認められなかった。

表3-27 低 CP 飼料へのセルラーゼ添加が7から21日齢の雄ブロイラーの飼養成績に及ぼす影響 (試験1)¹

セルラーゼ	CP21%	CP19%		Pooled SEM
		-	+	
増体量 (g/14日)	677	693	719	25.5
飼料摂取量 (g/14日)	1021	1051	1048	27.2
飼料効率	66.3	65.8	68.6	0.87

¹2羽5反復の平均値表3-28 低 CP 飼料へのセルラーゼ添加が21日齢の雄ブロイラーヒナの腹腔内脂肪重量に及ぼす影響 (試験1)¹

セルラーゼ	CP21%	CP19%		Pooled SEM
		-	+	
腹腔内脂肪重量 (g/100g 体重)	1.24	1.33	1.29	0.084

¹10羽の平均値表3-29 低 CP 飼料へのセルラーゼ添加が14から18日齢の雄ブロイラーヒナの窒素出納に及ぼす影響 (試験1)¹

セルラーゼ	CP21%	CP19%		Pooled SEM
		-	+	
窒素摂取量 (g/4日/羽)	10.62	9.80	9.79	0.363
窒素蓄積量 (g/4日/羽)	6.62	6.89	6.80	0.260
窒素排泄量 (g/4日/羽)	4.00 ^a	2.91 ^b	2.99 ^b	0.186
窒素排泄率 ² (%)	37.6 ^a	29.7 ^b	30.6 ^b	1.18

¹5反復の平均値.² 窒素摂取量当たりの窒素排泄量の割合.^{a,b} 異符号間に5%水準で有意差あり.表3-30 セルラーゼ添加が AMEn 値および回腸アミノ酸消化率に及ぼす影響 (試験1)¹

セルラーゼ	-	+
AMEn (kcal/g)	3.38±0.03	3.36±0.04
Asp (%)	77.8±7.3	82.8±3.1
Thr	75.6±7.6	81.1±3.1
Ser	80.0±5.7 ^b	84.8±2.6 ^a
Glu	87.7±4.3 ^b	91.1±1.8 ^a
Gly	72.2±8.5 ^b	78.5±3.5 ^a
Ala	86.1±5.0 ^b	89.8±1.9 ^a
Val	78.8±7.1	83.4±3.1
Ile	75.3±8.2	80.9±3.6
Leu	86.6±4.5 ^b	90.1±1.8 ^a
Tyr	82.6±5.2 ^b	87.1±2.1 ^a
Phe	84.7±4.7	88.1±2.1
Lys	83.8±7.2	88.8±2.8
His	80.4±5.9 ^b	84.8±2.6 ^a
Arg	86.4±5.5	90.3±2.4
Pro	84.7±4.4 ^b	88.5±2.1 ^a

^{a,b} 異符号間に5%水準で有意差あり.¹5反復の平均値

表 3-31 低 CP 飼料へのセルラーゼ添加が雄ブロイラーヒナの
肝臓脂質代謝関連酵素活性に及ぼす影響 (試験 1)¹⁾

セルラーゼ	CP21%	CP19%		Pooled SEM
		-	+	
FAS (nmol/min/mg タンパク質)	3.01	1.97	1.16	0.994
(nmol/min/g 組織)	629	406	243	206.4
(nmol/min/100g 体重)	1672	998	589	568.7
ME (nmol/min/mg タンパク質)	36.7	36.5	44.7	2.78
(μ mol/min/g 組織)	7.73	7.39	9.11	0.548
(μ mol/min/100g 体重)	20.1	17.9	22.7	1.59
CPT (μ mol/min/mg タンパク質)	31.8 ²⁾	30.7	27.8	1.09*
(mol/min/g 組織)	2.64 ²⁾	2.48	2.23	0.104*
(mmol/min/100g 体重)	6.87 ²⁾	5.92	5.51	0.257*

¹⁾ 10 反復の平均値²⁾ n=9.

*SE.

表 3-32 低 CP 飼料へのセルラーゼ添加が 21 から 42 日齢の
雄ブロイラーの飼養成績に及ぼす影響 (試験 2)¹⁾

セルラーゼ	CP17%	CP15%		Pooled SEM
		-	+	
増体量 (g/21 日)	1545	1564	1600	65.8
飼料摂取量 (g/21 日)	3014	3071	3153	116.5
飼料効率	51.2	51.0	50.7	0.72

¹⁾ 8 反復の平均値表 3-33 低 CP 飼料へのセルラーゼ添加が 42 日齢の雄ブロイラーの
腹腔内脂肪重量に及ぼす影響 (試験 2)¹⁾

セルラーゼ	CP17%	CP15%		Pooled SEM
		-	+	
腹腔内脂肪重量 (g/100g 体重)	1.93	2.00	1.88	0.156

¹⁾ 8 反復の平均値表 3-34 低 CP 飼料へのセルラーゼ添加が 35 から 39 日齢の
雄ブロイラーヒナの窒素出納に及ぼす影響 (試験 2)¹⁾

セルラーゼ	CP17%	CP15%		Pooled SEM
		-	+	
窒素摂取量 (g/4 日/羽)	13.3 ^a	11.3 ^b	11.0 ^b	0.51
窒素排泄量 (g/4 日/羽)	4.24 ^a	3.21 ^b	3.07 ^b	0.161
窒素蓄積量 (g/4 日/羽)	9.05	8.05	7.92	0.439
窒素排泄率 ²⁾ (%)	32.0	28.8	28.1	1.24

¹⁾ 8 反復の平均値.²⁾ 窒素摂取量当たりの窒素排泄量の割合.^{a,b} 異符号間に 5%水準で有意差あり.

表 3-35 セルラーゼ添加が AMEn 値および回腸
アミノ酸消化率に及ぼす影響 (試験 2)¹

セルラーゼ	-	+
AMEn (kcal/g)	3.10±0.03	3.09±0.04
Asp (%)	80.9±5.3	83.5±4.9
Thr	82.5±4.1	85.2±4.3
Ser	82.4±4.3	85.7±3.8
Glu	89.1±3.0	91.1±2.5
Gly	76.5±5.8	80.0±5.2
Ala	88.2±3.0	90.1±2.8
Val	85.3±3.3	87.4±3.5
Ile	82.5±4.0	84.8±4.7
Leu	88.8±2.6	90.6±2.5
Tyr	85.5±3.3	87.3±3.6
Phe	86.8±3.0	89.1±3.0
Lys	88.3±3.1	89.6±4.0
His	83.5±3.8	85.0±4.2
Arg	90.5±2.5	92.1±2.9
Pro	88.9±3.0	90.4±2.2

¹ 8 反復の平均値表 3-36 低 CP 飼料へのセルラーゼ添加が雄ブロイラーヒナの
肝臓脂質代謝関連酵素活性に及ぼす影響 (試験 2)¹

セルラーゼ	CP17%	CP15%		Pooled SEM
		-	+	
FAS (μmol/min/mg タンパク質)	0.681	0.688	0.481	0.105
(μmol/min/g 組織)	57.8	57.4	42.6	8.902
(μmol/min/100g 体重)	131.7	122.9	89.7	20.81
ME (nmol/min/mg タンパク質)	155	164	158	5.7
(μmol/min/g 組織)	13.0	13.7	14.0	0.53
(μmol/min/100g 体重)	27.2	31.0	29.4	1.23
CPT (μmol/min/mg タンパク質)	16.1	19.6	16.0	1.97
(mmol/min/g 組織)	1.22	1.39	1.23	0.139
(mmol/min/100g 体重)	2.55	3.15	2.57	0.320

¹ 8 反復の平均値

考 察

両試験とも、1～3 週齢においては CP19%，3～6 週齢においては CP15%の低 CP 飼料給与による飼養成績の低下は認められず、アミノ酸を添加した低 CP 飼料の給与により日本飼養標準 (1997)⁶⁹⁾ で示されている CP21% および CP17%の飼料給与時と同等の成長を示すことが確認された。また、有意差は認められなかったものの、酵素添加区の増体量はいずれの試験でも他区よりも高くなる傾向がみられた。Zanella ら¹¹³⁾ は、トウモロコシ・大豆粕主体で CP 水準が 20, 19 および 17.7%のスターター、グロウワー、フィニッシャー飼料へ、キシラナーゼ、プロテアーゼおよびアミラーゼを含む酵素剤を添加することにより増体量が有意に高まることを報告している。Gracia ら³⁴⁾ もトウモロコシ主体飼料への繊維分解系

酵素剤の添加が成長に有益に働くことを明らかにしている。しかしながら、同時に飼料摂取量の増加も観察され、飼料要求量に大きな改善は認められないことを報告している。本試験でも増体量は試験 1 および 2 ともに酵素添加により増加する傾向がみられたが、飼料効率については試験 1 と試験 2 では酵素添加により逆の傾向が認められ、酵素添加により必ずしも飼料効率は改善されないことが明らかとなった。飼料への繊維分解系酵素の添加効果は、その供試飼料の主要原料により異なると考えられる。例えば、トウモロコシおよび大麦中のペントサン、β-グルカンなどの非デンプン多糖類の含量は、それぞれ 4.3, 11.0%とされ²⁰⁾、大麦などの麦類への添加効果は大きく、多くの研究者によって報告されている^{79, 108)}。しかしながら、トウモロコシ主体飼料においても栄養素

の利用性を改善し成長を高める効果があることは、これまでの報告からも明らかである。

既往の報告の通り、低 CP 飼料給与により窒素排泄量を両試験ともに 25%前後低減できた。しかしながら、酵素添加による大幅な窒素排泄量低減は認められなかった。回腸の見かけのアミノ酸消化率は、いずれの試験でも上昇する傾向がみられ、試験 1 においては多くのアミノ酸で有意差が認められた。アミノ酸の消化率が上昇したのにもかかわらず、窒素排泄量が低減しなかった理由として、低 CP 飼料給与区でも対照区と有意差がないほどの成長を示していたことから、酵素添加により消化・吸収されたアミノ酸の多くは利用されずに排泄された可能性が考えられる。トウモロコシ・大豆粕主体飼料への複合酵素剤添加は、CP 消化率の改善、アミノ酸の消化率も有意に上昇することが示されており¹¹³⁾、本試験においても同様の結果が得られた。飼料中のタンパク質の一部は難消化性の多糖類に包まれて存在しており¹⁰³⁾、複合酵素剤がそれらの多糖類を分解することにより未消化のタンパク質の消化を促進すると考えられる。また、シチメンチョウにおいて、酵素添加が空回腸における絨毛の長さを伸長させることも示されており⁸³⁾、表面積を広げることにより、その消化・吸収を改善すると考えられる。

腹腔内脂肪重量は、低 CP 飼料の給与により有意ではないものの増加する傾向を示した。ブロイラーの飼料中 CP 含量と脂肪蓄積との関係については、飼料中 CP 水準の低下、すなわち飼料中のエネルギーと CP の比が高くなるとともに体脂肪蓄積が増加することが Jackson ら⁴¹⁾をはじめ多くの研究者によって示されている。そのようなエネルギーCP 比が高い飼料を給与すると、肝臓の脂肪酸合成の指標である ME 活性は上昇することが示されている。今回の試験では、もう一つの合成系の指標として、FAS 活性も測定したが、これらの酵素活性に低 CP 飼料給与の影響は認められなかった。飼料への酵素添加による肝臓の脂肪酸合成および分解酵素活性への影響は認められなかった。しかしながら、いずれの試験でも酵素添加により腹腔内脂肪重量が減少する傾向がみられたことは興味深い。これまでの報告では、セルラーゼやアミラーゼなどの酵素添加により腹腔内脂肪重量が減少することが報告されている^{112, 113)}。その機序については明らかになっていないが、下部消化管における揮発性脂肪酸 (VFA) 産生の増加が関与している可能性がある。繊維分解系酵素の添加により、回腸などの下部消化管内容物の非デンプン多糖類含量が減少し、代わりに遊離の糖類が増加する。それらを基質として盲腸内では VFA 濃度

が高まることが Kocher ら⁴⁷⁾により明らかにされている。VFA のうちプロピオン酸は肝臓において、脂肪酸やステロールの生合成を抑えること⁶⁷⁾、酢酸および酪酸は肝臓におけるグルコースの分解を抑制し、代わりにエネルギー源として脂肪の利用を促進する可能性が示されている³⁷⁾。しかしながら、Café ら¹⁶⁾は、Zenella ら¹¹³⁾の報告と同一の酵素をトウモロコシ・大豆粕主体の飼料に添加したところ、逆に腹腔内脂肪重量が有意に増加したことを示しており、これらの結果の差異、そして繊維分解系酵素添加と脂肪蓄積との関係については更なる検討が必要と考えられる。

総合考察

本研究は、アミノ酸を添加して飼料中のアミノ酸バランスを整えた低 CP 飼料をブロイラーに給与することにより、生産性を維持したまま窒素排泄量を低減できることを明らかにし、その時に問題となる脂肪蓄積増加の抑制の可能性について検討したものである。アミノ酸のタンパク質の材料供給としての栄養機能と、その他の生理的な機能、体脂肪蓄積に影響を及ぼす飼料添加剤等について、本研究で得られた知見から総合的に考察してみる。

第 1 章では、単体アミノ酸を添加して必須アミノ酸要求量を満たした CP 含量が 2 ポイント程度低い飼料を調製して 1 から 3 週齢までのブロイラーに給与することにより、増体量や飼料効率などの生産性を低下させることなく窒素排泄量を低減できることを明らかにした。これらの知見を基に、3 週齢以降については、斉藤ら⁸⁶⁾、荻原ら⁷⁴⁾が窒素排泄量の低減を試みている。それによると、3 週齢のブロイラーに等エネルギー含量で CP 水準が 19, 18 および 17%の飼料を 5 週間給与したところ、飼養成績に飼料の低 CP 化の影響は認められず、窒素排泄量も約 3 割減少したと報告している。これらの結果から、ブロイラーの生育期間を通じて、通常の飼料原料を用いて配合した飼料の CP 含量を 2 ポイント程度低下させても、単体アミノ酸を添加して必須アミノ酸要求量を充足すれば、飼養成績に影響を及ぼすことなく、窒素排泄量を 15 ~ 30%減少できることが明らかになった。同様の試験は、Blair ら⁸⁾によっても行われており、0 から 3 週齢までは CP25%の対照飼料に対し CP21%、3 から 6 週齢までは CP21%の対照飼料に対し CP18%の低 CP 飼料の給与により、6 週齢時の体脂肪量は増加したものの、増体量および飼料要求率に影響を及ぼすことなく窒素排泄量を最大 27%低減できたことが報告されている。また、Ishibashi

and Ohta⁴⁰⁾ は、ブロイラーに CP 含量が 17.9~27.8% の飼料を給与したときの窒素排泄量と飼料中の CP 水準との関係を明らかにしている。それによると、飼料中 CP が 1 ポイント減少する毎に 1 日あたりの窒素排泄量は 115mg (27~30 日齢), 235mg (47~50 日齢) 減少することを示し、両者の間に直線的な関係があること、成長とともに飼料の低 CP 化に伴う窒素排泄量の低減量も変化することを明解に示している。肥育前期および後期において飼料の CP 含量を 5 ポイント以上の大きな幅で下げた場合、不足する必須アミノ酸を添加しても飼養成績は低下することも示されており³⁰⁾、成長に影響を及ぼさないためには、必須アミノ酸含量だけでなく一定量以上のタンパク質が必要なようである。飼料の低 CP 化の限界については、今後の検討が必要である。

第2章第1節において CP19% で E/N 比が高い飼料を給与した区の腹腔内脂肪重量は CP21% の対照区との間に有意差は認められず、必須アミノ酸の中に脂肪蓄積に影響を及ぼすものがある可能性が考えられた。これまで、脂質代謝および体脂肪蓄積に影響を及ぼす可能性のあるアミノ酸として、含硫アミノ酸^{13, 38)} およびアルギニン⁵⁰⁾ が示されているが、要求量を超えての添加効果は明らかではなかった。そこで、第2節で過剰量のアミノ酸を含む飼料を給与し、体脂肪蓄積を抑制するアミノ酸の探索を試みたが明確な結果は得られなかった。したがって、先の E/N 比の上昇による腹腔内脂肪蓄積量の低下は、特定のアミノ酸によるものではなく必須アミノ酸の総合的な効果と推察された。

第3章では、低 CP 飼料中のアミノ酸含量がブロイラーの体脂肪蓄積量に及ぼす影響を検討した。これまで、低 CP 飼料給与に伴う体脂肪蓄積量の増加の要因として、体内でのタンパク質分解のためのエネルギー消費の減少による体脂肪合成能の亢進が考えられてきた。一方で、ほぼ同じ飼料原料で CP 含量の低い飼料を設計すると、低 CP 飼料ではタンパク質源の飼料原料の配合割合が低く、その分炭水化物を中心とする穀物類の配合割合が高くなる傾向が、等エネルギー含量になるように設計してもみられる。この炭水化物摂取量の増加が低 CP 飼料給与時の体脂肪蓄積増加の要因の一つではないかと考え、低 CP 飼料給与時と等量の CP 摂取量で炭水化物等の摂取量を制限したときに、脂肪蓄積が抑制できるか否か検討した。その結果、炭水化物の摂取量を制限しても腹腔内脂肪重量は変化せず、低 CP 飼料給与による脂肪蓄積

の増加は、炭水化物等の摂取量増加以外の要因によりもたらされる可能性が示唆された。この結果は、肥育豚において等 CP 含量でエネルギー水準を変化させた飼料を給与しても体脂肪蓄積が変化しなかったとする Knowles ら⁴⁶⁾ の報告とほぼ一致するものであり、やはり飼料のタンパク質含量が脂質代謝に大きく影響している可能性が示された。

低 CP 飼料給与に伴う腹腔内脂肪蓄積量の増加を抑制するために、ほ乳動物で体脂肪蓄積に影響を及ぼすと考えられているクロム酵母および共役リノール酸の添加効果を期待したが、低 CP 飼料給与に伴う体脂肪蓄積量を減少させることはできなかった。クロム酵母または有機クロムの添加がブロイラーの体脂肪蓄積に及ぼす影響については、体脂肪を減少させるとの報告⁶⁰⁾ もあるが、その効果が小さいかまたはないと報告も多く⁶⁵⁾、現在のところ一致した見解は得られていない。また、クロム酵母の効果が出やすい条件として、ストレス負荷などによりクロムが排泄され、不足または欠乏状態が考えられる。家禽におけるクロム酵母の有効性については今後の検討が必要である。また、共役リノール酸についても低 CP 飼料給与に伴う腹腔内脂肪の蓄積増加を抑えることはできなかった。共役リノール酸は、マウスにおいて強力な体脂肪蓄積抑制効果 (Park ら, 1997) が報告されている他に、豚においても背脂肪厚の減少や赤肉量の増加など体組成に影響を及ぼすことが明らかにされているが⁷⁸⁾、今回の検討では明らかな効果は認められなかった。近年、鶏において共役リノール酸の給与効果が報告されてきたが、それによると体脂肪蓄積に対する効果は小さく、効果が現れる添加濃度も他の動物と比較してかなり高いことが報告されている^{3, 26, 98)}。これら動物間の共役リノール酸の効果の違いが何に由来するか、そのメカニズムの解明が鶏の体脂肪過剰蓄積を防ぐ技術の開発にとって重要と考えられる。

第3章第4節では、低 CP 飼料へのセルラーゼ添加が腹腔内脂肪蓄積を減少させる可能性のあることを示した。これまで、繊維分解系酵素の飼料への添加は飼料のエネルギー価を高め、飼料中のカロリー：タンパク質比が上昇することにより体脂肪蓄積が増加すると考えられてきた。しかしながら、最近の報告では繊維分解系酵素の添加により腹腔内脂肪重量が減少したとの報告がみられるようになってきた^{88, 99, 112, 113)}。そのメカニズムについては、セルラーゼにより生じたセロビオースなどのオリゴ糖や腸内細菌叢、またはそれらが産生する揮発性脂肪酸の変化が要因ではないかと考えられているが、詳しいこ

とはわかっておらず、今後の機序解明が望まれる。

なお、第1および2章と第3章で異なる系統のブロイラーを供試している点に問題が指摘できる。これらの系統の間には胸肉歩留まり等において差があることが認められているが、本試験で着目している窒素排泄量および腹腔内脂肪の蓄積に大きな差があるとは考えにくい。第3章においても、第1章で得られた飼料中のCP水準を2ポイント程度低下できること、その時腹腔内脂肪の蓄積が増加することが確認されている。また、第1章と同様の試験を、斉藤ら⁸⁶⁾および荻原ら⁷⁴⁾が異なる鶏種を用いて行っているが、いずれの試験においても同様の結果が得られており、現在日本国内で主に用いられているブロイラーの系統であれば、本試験と同様の結果が確認できると考えられる。

これまで、ブロイラーの体脂肪蓄積を制御する様々な方策が考えられてきた。仕上げ期における制限給餌^{4, 63)}、配合するタンパク質源¹⁾および油脂の種類^{44, 89)}の検討、甲状腺ホルモン^{2, 23, 95}、 β -アゴニスト^{15, 21)}および肝臓薬の一つであるNKK-100^{1, 48)}などの薬物の投与、鶏脂肪組織のリポプロテインリパーゼのモノクローナル抗体注入⁹¹⁾による脂肪蓄積制御も試みられている。これらの成果から、ブロイラーの体脂肪蓄積の抑制は可能であると考えられる。しかしながら、ホルモンや薬物による体脂肪蓄積抑制技術については、実用化に際し国民の十分な理解が短時間で得られるとは考えにくい。本論文で検討したセルラーゼ添加による体脂肪の過剰蓄積制御は、その効果は十分とはいえないが、安全であり、飼料製造および調製の現場でも容易に導入できる方策と考えられる。これらの知見は、フィターゼ添加によるリン排泄量低減技術と組み合わせることにより農場からの環境負荷物質の排出を少なくしたまま、低脂肪でヘルシーな鶏肉を消費者に供給できる技術につながると考えられる。

謝 辞

本論文の取りまとめにあたり、懇篤なるご指導とご助言を賜りました信州大学農学部長唐澤豊教授、岐阜大学応用生物科学部大谷滋教授、静岡大学農学部森誠教授、信州大学農学部神勝紀教授には心から感謝いたします。

本研究の端緒を与えていただき、終始激励とご指導を賜りました九州沖縄農業研究センター九州バイオマス利用研究チーム村上斉主任研究員、九州沖縄農業研究センター企画管理部武政正明部長に深謝いたします。本研究の遂行にあたり、ご助言いただいた東北大学大学院農学研究科秋葉征夫教授、同高橋和昭助手に謝意を表します。

また、動物試験の遂行および試料分析にあたり多大なご協力をいただいた、畜産草地研究所機能性飼料研究チーム(旧栄養素機能研究室)、分子栄養研究チーム(旧中小家畜代謝研究室)、業務第3科の皆様に感謝いたします。

参考文献

- 1) Akiba, Y., Miura, H. and Horiguchi, M. (1987). Lipid accumulation and lipid metabolism in liver and adipose tissue and plasma corticosterone concentration of broiler chicks fed different protein sources or NKK-100, Japanese Poultry Science, 24, 220-229.
- 2) Akiba, Y., Takahashi, K., Kimura, M., Hirama, S-I. and Matsumoto, T. (1983). The influence of environmental temperature, thyroid status and a synthetic oestrogen on the induction of fatty livers in chicks, British Poultry Science, 24, 71-80.
- 3) An, B.K., Shinn, K.H., Kobayashi, Y., Tanaka, K. and Kang, C.W. (2003). Excessive dietary conjugated linoleic acid affects hepatic lipid content and muscular fatty acid composition in young chicks, Asian-Australasian Journal of Animal Sciences, 16, 1171-1176.
- 4) Arafa, A.S., Boone, M.A., Janky, D.M., Wilson, H.R., Miles, R.D. and Harms, R.H. (1983). Energy restriction as a means of reducing fat pads in broilers, Poultry Science, 62, 314-320.
- 5) Bedford, M.R. and Summers, J.D. (1985). Influence of the ration of essential to non essential amino acids on performance and carcass composition of the broiler chick, British Poultry Science, 26, 483-491.
- 6) Belury, M.A. and Kempa-steczko, A. (1997). Conjugated linoleic acid modulates hepatic lipid composition in mice, Lipids, 32, 199-204.
- 7) Bieber, L.L., Abraham, T. and Helmrath, T. (1972). A rapid spectrophotometric assay for carnitine palmitoyltransferase, Analytical. Biochemistry, 50, 509-518.
- 8) Blair, R., Jacob, J.P., Ibrahim, S. and Wang, P. (1999). A quantitative assessment of reduced protein diets and supplements to improve nitrogen utilization, Journal of Applied Poultry Research, 8, 25-47.
- 9) Blankson, H., Stakkestad, J.A., Fagertun, H., Thom, E., Wadstein, J. and Gudmundsen, O. (2000). Conjugated linoleic acid reduces body fat mass in

- overweight and obese humans, *Journal of Nutrition*, 130, 2943-2948.
- 10) Boleman, S.L., Boleman, S.J., Bidner, T.D., Southern, L.L., Ward, T.L., Pontif, J.E. and Pike, M.M. (1995). Effect of chromium picolinate on growth, body composition, and tissue accretion in pigs, *Journal of Animal Science*, 73, 2033-2042.
 - 11) Bornstein, S. and Lipstein, B. (1975). The replacement of some of the soybean meal by the first limiting amino acids in practical broiler diets. 1. The value of special supplementation of chick diets with methionine and lysine, *British Poultry Science*, 16, 177-188.
 - 12) Bunchasak, C., Tanaka, K. and Ohtani, S. (1998). Effect of supplementing nonessential amino acids on growth performance and fat accumulation in broiler chicks fed a diet supplemented with Met+Cys, *Japanese Poultry Science*, 35, 182-188.
 - 13) Bunchasak, C., Tanaka, K., Ohtani, S. and Collado, C.M. (1996). Effect of met + cys supplementation to a low-protein diet on the growth performance and fat accumulation of broiler chicks at starter period, *Animal Science and Technology (Japan)*, 67, 956-966.
 - 14) Burton, J.L., Mallad, B.A. and Mowat, D.N. (1993). Effects of supplemental chromium on immune responses of periparturient and early lactation dairy cows, *Journal of Animal Science*, 71, 1532-1539.
 - 15) Buyse, J., Decuyper, E., Huyghebaert, G. and Herremans, M. (1991). The effect of clenbuterol supplementation on growth performance and on plasma hormone and metabolite levels of broilers, *Poultry Science*, 70, 993-1002.
 - 16) Café, M.B., Borges, C.A., Fritts, C.A. and Waldroup, P.W. (2002). Avizyme improves performance of broilers fed corn-soybean meal-based diets, *Journal of Applied Poultry Research*, 11, 29-33.
 - 17) Carew, L.B., Evarts, K.G. and Alster, F.A. (1998). Growth, feed intake, and plasma thyroid hormone levels in chicks fed dietary excesses of essential amino acids, *Poultry Science*, 77, 295-298.
 - 18) Chamruspollert, M. and Sell, J.L. (1999). Transfer of dietary conjugated linoleic acid to egg yolks of chickens, *Poultry Science*, 78, 1138-1150.
 - 19) Chang, X. and Mowat, D.N. (1992). Supplemental chromium for stressed and growing feeder calves, *Journal of Animal Science*, 70, 559-565.
 - 20) Choct, M. and Annison, G. (1990). Anti-nutritive activity of wheat pentosans in broiler diets, *British Poultry Science*, 31, 811-821.
 - 21) Dalrymple, R.H., Baker, P.K., Gingher, P.E., Engle, D.L., Pensack, J.M. and Ricks, C.A. (1984). A repartitioning agent to improve performance and carcass composition of broilers, *Poultry Science*, 63, 2376-2383.
 - 22) Daveby, Y.D., Razdan, A. and Aman, P. (1998). Effect of particle size and enzyme supplementation of diets based on dehulled peas on the nutritive value for broiler chickens, *Animal Feed Science and Technology*, 74, 229-239.
 - 23) Decuyper, E., Buyse, J., Scanes, C.G., Huybrechts, L. and Kühn, E.R. (1987). Effects of hyper- or hypothyroid status on growth, adiposity and levels of growth hormone, somatomedin C and thyroid metabolism in broiler chickens, *Reproduction, Nutrition, Development*, 27, 555-565.
 - 24) De Deckere, E.A.M., van Amelsvoort, J.M.M., McNeill, G.P. and Jones, P. (1999). Effects of conjugated linoleic acid (CLA) isomers on lipid levels and peroxisome proliferation in the hamster, *British Journal of Nutrition*, 82, 309-317.
 - 25) Deschepper, K. and De Groote, G. (1995). Effect of dietary protein, essential and non-essential amino acids on the performance and carcase composition of male broiler chickens, *British Poultry Science*, 36, 229-245.
 - 26) Du, M. and Ahn, D.U. (2002). Effect of dietary conjugated linoleic acid on the growth rate of live birds and on the abdominal fat content and quality of broiler meat, *Poultry Science*, 81, 428-433.
 - 27) Dugan, M.E.R., Aalhus, J.L., Schaefer, A.L. and Kramer, J.K.G. (1997). The effect of conjugated linoleic acid on fat to lean repartitioning and feed conversion in pigs, *Canadian Journal of Animal Science*, 77, 723-725.
 - 28) Edmonds, M.S. and Baker, D.H. (1987). Comparative effects of individual amino acid excesses when added to a corn-soybean meal diet: effects on growth and dietary choice in the chick, *Journal of Animal Science*, 65, 699-705.
 - 29) Edmonds, M.S., Parsons, C.M. and Baker, D.H. (1985).

- Limiting amino acids in low-protein corn-soybean meal diets fed to growing chicks, *Poultry Science*, 64, 1519-1526.
- 30) Fancher, B.I. and Jensen, L.S. (1989). Male broiler performance during the starting and growing periods as affected by dietary protein, essential amino acids, and potassium levels, *Poultry Science*, 68, 1385-1395.
- 31) Fraps, G.S. (1943). Relation of the protein, fat, and energy of the ration to the composition of chickens, *Poultry Science*, 22, 421-424.
- 32) Geraert, P.A., Leclercq, B. and Larbier, M. (1987). Effects of dietary glucogenic amino acid supplementation on growth performance, body composition and plasma free amino acid levels in genetically lean and fat chickens. *Reproduction, Nutrition, Development*, 27, 1041-1051.
- 33) Goodridge, A.G. (1968). Metabolism of glucose-U-14C in vitro in adipose tissue from embryonic and growing chicks, *American Journal of Physiology*, 214, 897-901.
- 34) Gracia, M.I., Aranibar, M.J., Lazaro, R., Medel, P. and Mateos, G.G. (2003). α -amylase supplementation of broiler diets based on corn, *Poultry Science*, 82, 436-442.
- 35) Han, Y. and Baker, D.H. (1993). Effects of excess methionine or lysine for broilers fed a corn-soybean meal diet, *Poultry Science*, 72, 1070-1074.
- 36) Han, Y., Suzuki, H., Parsons, C.M. and Baker, D.H. (1992). Amino acid fortification of a low-protein corn and soybean meal diet for chicks, *Poultry Science*, 71, 1168-1178.
- 37) Higgins, J.A. (2004). Resistant starch : Metabolic effects and potential health benefits, *Journal of AOAC International*, 87, 761-768.
- 38) Huyghebaert, G. and Pack, M. (1996). Effects of dietary protein content, addition of nonessential amino acids and dietary methionine to cysteine balance on responses to dietary sulphur-containing amino acids in broilers, *British Poultry Science*, 37, 623-639.
- 39) Ip, C., Chin, S.F., Scimeca, J.A. and Pariza, M.W. (1991). Mammary cancer prevention by conjugated dienoic derivative of linoleic acid, *Cancer Research*, 51, 6118-6124.
- 40) Ishibashi, T. and Ohta, Y. (1999). Recent advances in amino acid nutrition for efficient poultry production. -Review-, *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 12, 1298-1309.
- 41) Jackson, S., Summers, J.D. and Leeson, S. (1982). Effect of dietary protein and energy on broiler carcass composition and efficiency of nutrient utilization, *Poultry Science*, 61, 2224-2231.
- 42) Jensen, L.S. (1989). Relationship between protein and amino acid requirements of poultry, *Proceedings of the Georgia Nutrition Conference*, 8-15.
- 43) 神谷俊一 (2002). アミノ酸バイブルダイエット・美肌・元気の味方, 三水社, 東京.
- 44) 剣持和幸・赤山照也・岡本俊弘・寺島勉・井上譲・堀口雅昭・秋葉征夫 (1988). 飼料原料の差異がブロイラー腹腔内脂肪付着・脂肪肝発生の消長に及ぼす影響, 昭和 61 年度全農飼料畜産中央研究所試験研究報告, 15, 237-255.
- 45) Kim, I.C., Gary, N. and William Jr., C.D. (1981). Fatty acid synthase from pig liver, *Methods in Enzymology*, 71, 79-85.
- 46) Knowles, T.A., Southern, L.L., Bidner, T.D., Kerr, B.J. and Friesen, K.G. (1998). Effect of dietary fiber or fat in low-crude protein, crystalline amino acid-supplemented diets for finishing pigs, *Journal of Animal Science*, 76, 2818-2832.
- 47) Kocher, A., Choct, M., Porter, M.D. and Broz, J. (2002). Effects of feed enzymes on nutritive value of soyabean meal fed to broilers, *British Poultry Science*, 43, 54-63.
- 48) 小宮山恒・細川明・仲沢弘 (1983). ブロイラーの肉質 特に脂肪蓄積の抑制に関する試験 (第 I 報), 山梨県畜産試験場研究報告, 30, 92-111.
- 49) Kornegay, E.T., Wang, Z., Wood, C.M. and Lindemann, M.D. (1997). Supplemental chromium picolinate influences nitrogen balance, dry matter digestibility, and carcass traits in growing-finishing pigs, *Journal of Animal Science*, 75, 1319-1323.
- 50) Leclercq, B., Chagneau, A.M., Cochard, T. and Khoury, J. (1994). Comparative responses of genetically lean and fat chickens to lysine, arginine and non-essential amino acid supply. I. Growth and body composition, *British Poultry Science*, 35, 687-696.
- 51) Leeson, S. and Summers, J.D. (1997). *Commercial Poultry Nutrition*. 2nd edition, University Books. Guelph.

- 52) Lien, T-F. Horng, Y-M. and Yang, K-H. (1999). Performance, serum characteristics, carcass traits and lipid metabolism of broilers as affected by supplement of chromium picolinate, *British Poultry Science*, 40, 357-363.
- 53) Lowry, O.H., Rosebrough, N.J., Farr, A.L. and Randall, R.J. (1951). Protein measurement with the folin phenol reagent, *Journal of Biological Chemistry*, 193, 265-275.
- 54) Mack, S., Bercovici, D., De Groote, G., Leclercq, B., Lippens, M., Pack, M., Schutte, J.B. and Van Cauwenberghe, S. (1999). Ideal amino acid profile and dietary lysine specification for broiler chickens of 20 to 40 days of age, *British Poultry Science*, 40, 257-265.
- 55) Matsuno, N., Yamaguchi, M., Saiki, R. and Tamura, E. (1976). Body weight change and nitrogen efficiencies in growing and adult rats fed diets containing various proportions of essential amino acids to total amino acids, *Journal of Nutritional Science and Vitaminology*, 22, 321-331.
- 56) Mendonca, C.X. and Jensen, L.S. (1989). Influence of protein concentration on the sulphur-containing amino acid requirement of broiler chickens, *British Poultry Science*, 30, 889-898.
- 57) Mertz, W. (1993). Chromium in human nutrition : A review, *Journal of Nutrition*, 123, 626-633.
- 58) Mooney, K.W. and Cromwell, G.L. (1997). Efficacy of chromium picolinate and chromium chloride as potential carcass modifiers in swine, *Journal of Animal Science*, 75, 2661-2671.
- 59) Morris, B.W., Gray, T.A. and Macneil, S. (1993). Glucose-dependent uptake of chromium in human and rat insulin-sensitive tissues, *Clinical Science*, 84, 477-482.
- 60) Motozono, Y., Hatano, K., Sugawara, N. and Ishibashi, T. (1998). Effects of dietary chromium picolinate and yeast chromium on the growth and carcass fat of broilers, *Animal Science and Technology (Jpn)*, 69, 247-252.
- 61) Moya-Camarena, S.Y., Vanden Heuvel, J.P. and Belury, M.A. (1999). Conjugated linoleic acid activates peroxisome proliferator-activated receptor α and β subtypes but does not induce hepatic peroxisome proliferation in Sprague-Dawley rats, *Biochimica et Biophysica Acta*, 1436, 331-342.
- 62) 中井裕・羽賀清典・原田靖生・小林茂樹・押田敏雄 (1995). 新畜産ハンドブック, 9 章 畜産環境と排泄物処理, 講談社, 東京.
- 63) 中島治美・福田由美子・森本義雄 (1984). 給餌時間制限によるブロイラーの飼料効率改善 (第2報), 福岡県農業総合試験場研究報告 C, 3, 33-38.
- 64) National Research Council (1994). Nutrient Requirements of Poultry. 9th rev. ed., National Academy Press, Washington, DC., U. S. A.
- 65) National Research Council (1997). The role of chromium in animal nutrition, 36-62.
- 66) 日本科学飼料協会 (2004). 新編飼料ハンドブック (第2版), 361p.
- 67) Nishina, P.M. and Freedland, R.A. (1990). Effects of propionate on lipid biosynthesis in isolated rat hepatocytes, *Journal of Nutrition*, 120, 668-673.
- 68) 農林水産省農林水産技術会議事務局編 (1992). 日本飼養標準—家禽, 中央畜産会, 東京.
- 69) 農林水産省農林水産技術会議事務局編 (1997). 日本飼養標準—家禽, 中央畜産会, 東京.
- 70) 農林水産省生産局畜産部畜産企画課 (2003). 畜産の動向.
- 71) 農林省農林経済局統計調査部 (1969). 畜産統計 — (家畜飼養の概況) —.
- 72) 農林水産省生産局畜産部畜産振興課, 消費・安全局衛生管理課薬事・試料安全室 (2005). 飼料をめぐる情勢, 平成 17 年 9 月.
- 73) 農林統計協会 (1995). 農林水産研究文献解題 No. 21 環境保全型農業技術編, 平成 7 年 3 月, 23-27.
- 74) 荻原郁子・小宮山恒・本田幸和 (2000). 環境に配慮した鶏の排泄物低減化のための飼料及び飼養管理技術の開発 (第1報), 山梨県畜産試験場研究報告, 45, 27-37.
- 75) Ochoa, S. (1955). "Malic" enzyme. *Methods in Enzymology*. I, 739-741.
- 76) O'Hea, E.K. and Leveille, G.A. (1969a). Significance of adipose tissue and liver as sites of fatty acid synthesis in the pig and the efficiency of utilization of various substrates for lipogenesis, *Journal of Nutrition*, 99, 338-344.
- 77) O'Hea, E.K. and Leveille, G.A. (1969b). Lipid biosynthesis and transport in the domestic chick (*Gallus Domesticus*), *Comparative Biochemistry and*

- Physiology B, 30, 149-159.
- 78) Ostrowska, E., Muralitharan, M., Cross, R.F., Bauman, D.E. and Dunshea, F.R. (1999). Dietary conjugated linoleic acids increase lean tissue and decrease fat deposition in growing pigs, *Journal of Nutrition*, 129, 2037-2042.
- 79) Ouhida, I., Perez, J.F., Gasa, J. and Puchal, F. (2000). Enzyme (β -glucanase and arabinoxylanase) and/or sepiolite supplementation and the nutritive value of maize-barley-wheat based diets for broiler chickens. *British Poultry Science*, 41, 617-624.
- 80) Page, T.G., Southern, L.L., Ward, T.L. and Thompson, Jr., D.L. (1993). Effect of chromium picolinate on growth and serum and carcass traits of growing-finishing pigs, *Journal of Animal Science*, 71, 656-662.
- 81) Park, Y., Albright, K.J., Liu, W., Storkson, J.M., Cook, M.E. and Pariza, M.W. (1997). Effect of conjugated linoleic acid on body composition in mice, *Lipids*, 32, 853-858.
- 82) Parr, J.F. and Summers, J.D. (1991). The effect of minimizing amino acid excreted in broiler diets, *Poultry Science*, 70, 1540-1549.
- 83) Ritz, C.W., Hulet, R.M., Self, B.B. and Denbow, D.M. (1995). Growth and intestinal morphology of male turkeys as influenced by dietary supplementation of amylase and xylanase, *Poultry Science*, 74, 1329-1334.
- 84) Rogers, S.R. and Pesti, G.M. (1990). The influence of dietary tryptophan on broiler chick growth and lipid metabolism as mediated by dietary protein levels. *Poultry Science*, 69, 746-756.
- 85) Romsos, D.R. and Leveille, G.A. (1974). Effect of dietary fructose on in vitro and in vivo fatty acid synthesis in the rat, *Biochimica et Biophysica Acta*, 360, 1-11.
- 86) 斉藤健一・飯田哲也・山口岑雄・畠山耕五 (1998). ブロイラーにおけるアミノ酸添加低タンパク質飼料給与による排泄窒素の低減, 千葉県畜産センター研究報告, 22, 13-19.
- 87) 斎藤守 (2001). ニワトリおよびブタからの環境負荷物質の低減化に関する栄養飼料学的研究の動向. *Animal Science Journal*, 72, J177-J199.
- 88) Saleh, F., Ohtsuka, A. and Hayashi, K. (2005). Effect of dietary enzymes on the ileal digestibility and abdominal fat content in broilers, *Animal Science Journal*, 76, 475-478.
- 89) Sanz, M., Flores, A. and Lopez-Bote, C.J. (2000). The metabolic use of energy from dietary fat in broilers is affected by fatty acid saturation, *British Poultry Science*, 41, 61-68.
- 90) SAS Institute, (1988). SAS/STAT User's guide, Release 6.03 Edition, SAS Institute Inc., Cray, NC. U. S. A.
- 91) Sato, K., Akiba, Y., Chida, Y. and Takahashi, K. (1999). Lipoprotein hydrolysis and fat accumulation in chicken adipose tissues are reduced by chronic administration of lipoprotein lipase monoclonal antibodies, *Poultry Science*, 78, 1286-1291.
- 92) 佐藤弘之・新里出 (2002). 飼料へのアミノ酸の利用 (シリーズ“アミノ酸” No14), *Ajico News* No.205, 2002年6月.
- 93) Scimeca, J.A. (1997). Toxicological evaluation of dietary conjugated linoleic acid in male fischer 344 rats, *Food and Chemical Toxicology*, 36, 391-395.
- 94) Simon, O., Manner, K., Schafer, K., Sagredos, A. and Eder, K. (2000). Effects of conjugated linoleic acids on protein to fat proportions, fatty acids, and plasma lipids in broilers, *European Journal of Lipid Science and Technology*, 102, 402-410.
- 95) Stewart, P.A. and Washburn, K.W. (1983). Variation in growth hormone, triiodothyronine (T3) and lipogenic enzyme activity in broiler strains differing in growth and fatness, *Growth*, 47, 411-425.
- 96) Summers, J.D. and Leeson, S. (1985). Broiler carcass composition as affected by amino acid supplementation, *Canadian Journal of Animal Science*, 65, 717-723.
- 97) Summers, J.D., Spratt, D. and Atkinson, J.L. (1992). Broiler weight gain and carcass composition when fed diets varying in amino acid balance, dietary energy, and protein level, *Poultry Science*, 71, 263-273.
- 98) Szymczyk, B., Pisulewski, P.M., Szczurek, W. and Hanczakowski, P. (2001). Effects of conjugated linoleic acid on growth performance, feed conversion efficiency, and subsequent carcass quality in broiler chickens, *British Poultry Science*, 85, 465-473.
- 99) Tahir, M., Saleh, F., Ohtsuka, A. and Hayashi, K. (2005). Synergistic effect of cellulase and hemicellulase on nutrient utilization and performance in broilers fed a

- corn-soybean meal diet, *Animal Science Journal*, 76, 559-565.
- 100) 武政正明 (1992). リン酸カリ試薬による酸化クロム定量法の改良, 畜産試験場研究報告, 52, 7-13.
- 101) 武政正明・松嶋 修・山崎信・村上斉 (1998). トウモロコシ・大豆粕飼料を給与した産卵鶏からの乾物排泄量の酵素添加による低減の可能性, 第6回アジア太平洋家禽会議講演要旨, 806-807.
- 102) 田中桂一 (1982). ニワトリの脂肪酸合成を制御している栄養学的要因. 日本家禽学会誌, 19, 65-75.
- 103) Tanaka, K., Kitahara, K. and Shigeno, K. (1979). Effect of dietary protein level on lipid metabolism in growing chicks, *Japanese Journal of Zootechnical Science*, 50, 44-54.
- 104) 田中桂一・高木伸雄・大谷滋・重野嘉吉 (1982). 飼料中脂肪あるいは蛋白質によるエネルギー含量の変化が鶏ヒナの脂質合成に及ぼす影響, 日本畜産学会報, 53, 73-79.
- 105) Vincent, J.B. (2000). The biochemistry of chromium, *Journal of Nutrition*, 130, 715-718.
- 106) Waldroup, P.W., Mitchell, R.J., Payne, J.R. and Hazen, K.R. (1976). Performance of chicks fed diets formulated to minimize excess levels of essential amino acids. *Poultry Science*, 55, 243-253.
- 107) West, D.B., Delany, J.P., Camet, P.M., Blohm, F., Truett, A.A. and Scimeca, J. (1998). Effects of conjugated linoleic acid on body fat and energy metabolism in the mouse, *American Journal of Physiology*, 275, R667-R672.
- 108) Wu, Y.B., Ravindran, V., Thomas, D.G., Birtles, M.J. and Hendriks, W.H. (2004). Influence of phytase and xylanase, individually or in combination, on performance, apparent metabolisable energy, digestive tract measurements and gut morphology in broilers fed wheat-based diets containing adequate level of phosphorus, *British Poultry Science*, 45, 76-84.
- 109) Yamasaki, M., Mansho, K., Mishima, H., Kasai, M., Sugano, M., Tachibana, H. and Yamada, K. (1999). Dietary effect of conjugated linoleic acid on lipid levels in white adipose tissue of Sprague-Dawley rats, *Bioscience, Biotechnology, and Biochemistry*, 63, 1104-1106.
- 110) 山崎信・岡幸宏・村上斉・武政正明・土黒定信・安藤幹男・山崎昌良 (1997a). 成長に伴うブロイラーの有効トレオニン要求量, 日本家禽学会誌, 34, 45-51.
- 111) 山崎信・大口秀司・村上斉・武政正明・安藤幹男・山崎昌良 (1997b). 産卵鶏の有効トレオニン要求量, 日本家禽学会誌, 34, 52-57.
- 112) Yonemochi, C., Fujisaki, H. and Takagi, H. (2003). Effects of amino acid, enzyme mixture and phytase added to low protein and low phosphorus diet on performance and excretion of nitrogen and phosphorus in broilers, *Journal of Poultry Science*, 40, 114-120.
- 113) Zanella, I., Sakomura, N.K., Silversides, F.G., Figueirido, A. and Pack, M. (1999). Effect of enzyme supplementation of broiler diets based on corn and soybeans, *Poultry Science*, 78, 561-568.

Studies on Reduction of Nitrogen excretion from Broiler Chick

Makoto YAMAZAKI

Department of Planning and General Administration

Summary

Japanese livestock industries have successfully increased in terms of both scale and productivity, and supplied high-quality low-price protein to the nation. However, scale-up in limited areas has caused environmental pollution, which may be due to livestock excretion.

In this study, the reduction of nitrogen excretion was investigated, utilizing the nutri-biochemical function of amino acids. The crude protein level at which excretion can be reduced without decreasing productivity was investigated, and the influences of supplementation with amino acids, yeast chromium, conjugated linoleic acid, and fiber-degrading enzymes on body fat accumulation, which is a problem in feeding a low-CP diet, were investigated.

The findings of this study are summarized below.

1. The possibility of reducing nitrogen excretion from Broiler chicks fed an essential amino acid-supplemented low-CP diet was investigated. Feeding a diet containing a 2-point lower CP level reduced nitrogen excretion by about 10–20% without decreasing body weight gain or feed efficiency. However, the low-CP diet increased peritoneal fat accumulation.
2. The influence of the ratio of essential (EAA) to non-essential amino acids (NEAA) in the low-CP diet on growth, nitrogen excretion, and peritoneal fat accumulation was investigated in Broiler chicks. The low-CP diet with a high E/N ratio reduced nitrogen excretion by 20% while maintaining a growth rate comparable to that obtained by feeding the control diet, suggesting that this diet may inhibit the low-CP diet-induced peritoneal fat accumulation.
3. The influences of excess EAA on growth performance and peritoneal fat accumulation were investigated in Broiler chicks. EAA was divided into the following 7 groups, and added to the diet containing 19% CP (CP19% diet) so as to adjust the content to 150% and 200% of the amino acid requirement: 1) Leucine, isoleucine, and valine, 2) threonine, 3) methionine, 4) phenylalanine and tyrosine, 5) lysine and arginine, 6) glycine, and 7) tryptophan. The addition of excess amino acids did not reduce the peritoneal fat weight. Excess methionine tended to decrease the weight gain and feed efficiency. These findings clarified that the addition of excess EAA to the low-CP diet does not affect peritoneal fat accumulation.
4. Whether the low-CP diet-induced increase in fat accumulation was due to the higher carbohydrate intake in the low-CP diet group than in the high-CP diet group was investigated. The same amount of non-crude protein nutrients, mainly carbohydrate, as the control CP21% diet were added to the same amount of crude protein as the CP19% diet, limiting the energy intake, and the liver lipid metabolism-related enzyme activities and fat accumulation were investigated. Of the liver lipid metabolism-related enzymes, the fatty acid synthase activity of the lipogenic system was slightly reduced by the limitation of the energy intake, but the activity of a lipolytic enzyme, carnitine palmitoyl transferase, was also slightly reduced. The peritoneal fat weight increased despite the energy intake being limited. These findings suggested that the low-CP diet-induced fat accumulation was due to a factor other than an increase in the

carbohydrate intake.

5. The influence of the addition of yeast chromium, which inhibits body fat accumulation, on growth, nitrogen excretion, and peritoneal fat accumulation was investigated in Broiler chicks. Although the CP19% diet reduced nitrogen excretion, the addition of yeast chromium did not inhibit the low-CP diet-induced fat accumulation.
6. The influence of the addition of conjugated linoleic acid, which inhibits body fat accumulation in mammals, on growth, nitrogen excretion, and peritoneal fat accumulation was investigated in Broiler chicks. Although it was suggested that the addition of conjugated linoleic acid affected lipid metabolism in Broiler chicks, it did not inhibit the low-CP diet-induced fat accumulation.
7. The influence of cellulase addition on growth, nitrogen excretion, and peritoneal fat accumulation was investigated in Broiler chicks aged 7–21 days and 28–42 days. No significant difference was noted in growth performance between the low-CP diet and control diet groups, while nitrogen excretion was significantly reduced. The enzyme addition slightly elevated the ileal amino acid digestion rate. The liver lipogenic and lipolytic enzyme activities were not affected by the CP level or the enzyme addition, but the peritoneal fat weight was slightly reduced by the enzyme addition. Based on these findings, cellulase addition to the low-CP diet may increase the ileal amino acid digestion rate and reduce peritoneal fat accumulation.

The above findings clarified that the EAA-supplemented low-CP diet was capable of reducing nitrogen excretion by about 10–20% without decreasing body weight gain and feed efficiency. The low-CP diet-induced peritoneal fat accumulation could not be inhibited by yeast chromium or conjugated linoleic acid addition, but may be inhibited by increasing the EAA/NEAA ratio of the diet and cellulase addition. These study results may be useful for the reduction of nitrogen excretion from domestic animals and fowl, which is currently a major problem..

Key words: amino acids, nitrogen excretion, fat deposition, environment, broilers